

**EROSÃO HÍDRICA EM POVOAMENTO DE  
EUCALIPTO SOBRE SOLOS COESOS NOS  
TABULEIROS COSTEIROS, ES**

**SÉRGIO GUALBERTO MARTINS**

**2005**

**SÉRGIO GUALBERTO MARTINS**

**EROSÃO HÍDRICA EM POVOAMENTO DE EUCALIPTO SOBRE  
SOLOS COESOS NOS TABULEIROS COSTEIROS, ES**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de "Doutor".

Orientador

Prof. Dr. Marx Leandro Naves Silva

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2005

Aos meus pais, João Martins e Margarida,  
e ao meu irmão, Celinho, pelo amor  
e confiança a mim dedicado.

## **OFEREÇO**

Ao meu tio José Martins (Deco) "in memorian"

## **DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por eu estar aqui e poder cumprir mais esta etapa.

À Universidade Federal de Lavras, especialmente ao Departamento de Ciência do Solo, pela oportunidade de realização do doutorado.

Ao CNPq, pela concessão de bolsa de estudos.

A Aracruz Celulose S.A., pelo apoio logístico na coleta de dados realizada no campo, sem o qual este trabalho não teria sido concretizado.

Ao Engenheiro Florestal Sebastião da Fonseca, responsável pela área de pesquisa em solos da Aracruz Celulose S.A., por sua sempre disponibilidade em ajudar.

A todos os técnicos de campo da Aracruz Celulose S.A. envolvidos na coleta de dados para realização desta tese.

Ao professor Marx Leandro Naves Silva, pela oportunidade de trabalhar com a conservação do solo e da água, conhecimentos transmitidos e pela orientação.

Ao professor Nilton Curi, pela orientação, ensinamentos transmitidos, amizade e conselhos. Um exemplo profissional.

Ao professor Mozart Martins Ferreira, pela sua sempre disponibilidade conselhos e amizade.

Ao professor da engenharia Rodrigo Vilela, pela ajuda e pelo convívio na pós-graduação.

Aos colegas da pós-graduação, Cláudio Roberto e Daniela Queiroz Zuliani, pela grande ajuda e pelo convívio.

A Gislene, pelo companheirismo, carinho, incentivo e ajuda constantes.

Aos funcionários do Departamento de Ciência do solo, Dulce, Delani, José Roberto Fernandes (Pezão) e Emerson do PROIN, pela ajuda constante e amizade.

Aos colegas da pós-graduação: Alessandra, Cláudio, Alexandre, Alex, Edilson Brasil, Gislene (Gigi), Juliano Malty, Jonas, Mateus, Alexandre de Araujo, Antônio Claret, Adriana S. Lima, Ana Rosa, Carolina Lisboa, Liziane. F. Brito, Marcos Kondo, Maria Aparecida P. Pierangeli, Silvana da Silva, Regla, Renato Ferreira, Vinícius M. Ferreira, Antônio Marcos, Junior César Avanzi, Mari Lúcia Campos pelos bons momentos de convivência.

Aos meus grandes amigos de tantas horas boas de convívio e amigos do violão, Alexandre D'Andrea, Rose D'Andrea, Cláudio Roberto, Gislene (Gigi) e Walfrido. Valeu demais, gente!!!

Aos meus grandes amigos da Engenharia Florestal, Edmilson e Antônio Claret de Matos.

Aos membros da banca examinadora como colaboradores deste trabalho, José Leonardo de Moraes Gonçalves e José Roberto Soares Scolforo.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
RESUMO GERAL .....	i
GENERAL ABSTRACT .....	ii
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	1
<b>CAPÍTULO 1: Potencial erosivo da chuva na região dos Tabuleiros Costeiros - Aracruz, ES</b>	
Resumo .....	3
Abstract .....	4
1 Introdução.....	5
2 Material e métodos .....	7
3 Resultados e discussão .....	9
4 Conclusões .....	19
Referências bibliográficas .....	20
<b>CAPÍTULO 2: Erodibilidade para os principais solos ocorrentes nos Tabuleiros Costeiros e fator cobertura para a cultura do eucalipto</b>	
Resumo .....	23
Abstract .....	24
1 Introdução .....	25
2 Material e métodos .....	29
3 Resultados e discussão .....	36
4 Conclusões .....	45
Referências bibliográficas .....	46
<b>CAPÍTULO 3: Cultivo mínimo de eucalipto e perdas de solo e água por erosão hídrica na região dos Tabuleiros Costeiros, município de Aracruz, ES</b>	
Resumo .....	52
Abstract .....	53
1 Introdução .....	54
2 material e métodos .....	59
3 Resultados e discussão .....	65
4 Conclusões .....	78
Referências bibliográficas .....	79
<b>CAPÍTULO 4: Perdas de nutrientes e carbono orgânico por erosão hídrica em floresta plantada de eucalipto na região dos Tabuleiros Costeiros, Aracruz, ES</b>	
Resumo .....	85
Abstract .....	86
1 Introdução .....	87

<b>2 Material e métodos...</b> .....	<b>90</b>
<b>3 Resultados e discussão</b> .....	<b>93</b>
<b>4 Conclusões</b> .....	<b>103</b>
<b>Referências bibliográficas</b> .....	<b>104</b>

## RESUMO GERAL

MARTINS, Sérgio Gualberto. **Erosão hídrica em povoamento de eucalipto sobre solos coesos nos Tabuleiros Costeiros, ES.** 2005. 106p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.<sup>1</sup>

No Brasil, grandes áreas têm sido plantadas com florestas de eucalipto visando satisfazer a demanda do mercado por matéria prima necessária para produção de celulose, carvão vegetal, madeira serrada e outros produtos madeireiros. Estudos dos impactos no solo destes sistemas de floresta plantada são ainda incipientes no Brasil, notadamente na área de conservação do solo e da água. Neste sentido, este estudo teve como objetivos determinar os fatores da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) e avaliar as perdas de solo, água, carbono orgânico e nutrientes para florestas plantadas de eucalipto, na região dos Tabuleiros Costeiros, município de Aracruz, ES. O experimento foi instalado nas principais classes de solos existentes na região de Aracruz, ES, a saber: Argissolo Amarelo textura média/argilosa (PA1), Plintossolo Háptico (FX) e Argissolo Amarelo moderadamente rochoso (PA8). Para o cálculo da erosividade, foram utilizados dados pluviométricos de novembro de 1997 a maio de 2004 obtidos em estações climatológicas automatizadas. Diante dos resultados, pôde-se concluir que o valor de erosividade total anual determinado foi de  $7.893 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , sendo a erosividade da chuva dessa região classificada como média. Os valores de erodibilidade determinados para os solos PA1, FX e PA8 foram de 0,007; 0,017 e 0,0004  $\text{t h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ , respectivamente. A cobertura vegetal e práticas conservacionistas (fator CP) para a cultura do eucalipto no sistema de cultivo mínimo e mata nativa foi de 0,0026 e 0,00013, respectivamente. Considerando que as perdas de solo são muito baixas para os sistemas estudados, estando muito abaixo dos limites de tolerância, pôde-se interpretar que as perdas de nutrientes e carbono orgânico não estão comprometendo a sustentabilidade das florestas de eucalipto, reforçando apenas a necessidade de manutenção do sistema de manejo atualmente em uso.

---

<sup>1</sup> Comitê Orientador: Marx Leandro Naves Silva - UFLA (Orientador); Nilton Curi - UFLA (Co-orientador).



## 1 INTRODUÇÃO GERAL

No Brasil, grandes áreas têm sido plantadas com florestas de eucalipto, visando satisfazer à demanda do mercado por matéria-prima necessária para a produção de celulose, carvão vegetal, madeira serrada e outros produtos. Estima-se que o Brasil possua atualmente cerca de 3 milhões de hectares de eucalipto plantado, ocupando lugar estratégico na economia do país com participação de 2,6% do PIB nacional. Além disso, as florestas plantadas de eucalipto desempenham papel de grande importância contra a pressão do desmatamento das florestas nativas. No entanto, estudos na área de conservação do solo e da água em áreas de floresta plantada são poucos no Brasil, notadamente em relação à erosão hídrica.

A erosão hídrica é tida como um dos principais fatores de degradação do solo e redução da produtividade das culturas, além de assorear e comprometer a qualidade de água dos mananciais. As perdas de solo e água por erosão hídrica dependem da interação do clima, solo, topografia, cobertura vegetal e do sistema de manejo do solo adotado. O conhecimento e o monitoramento dos fatores que influenciam a erosão hídrica por meio de modelos preditivos são fundamentais para garantir a produtividade e uso sustentável dos recursos naturais.

Neste contexto, a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) tem sido usada no mundo todo como um modelo bastante robusto na previsão de perdas de solo e planejamento conservacionista nos mais variados setores da atividade agrícola, pecuária e na silvicultura. A EUPS é composta pelos seguintes fatores: perdas de solo (fator A - expresso em  $\text{Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ ), erosividade da chuva (fator R - expresso em  $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$ ), erodibilidade do solo (fator K - expresso em  $\text{ha t h ha}^{-1} \text{MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$ ), fator topográfico (fator LS - adimensional) que considera a declividade (fator D - expresso em %) e o comprimento de rampa do solo (fator L - expresso em m), índice de cobertura vegetal (fator C -

adimensional) e práticas conservacionistas (fator P – adimensional) e, em muitos casos, o fator C pode ser determinado em associação com fator P. A tolerância de perdas de solo (fator T – expresso em  $\text{Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ ) é utilizada como um valor de referência para as perdas de solo em várias partes do mundo, ou seja, valores abaixo dela são indicativos da adequação do sistema de manejo no contexto da erosão hídrica.

Neste sentido, este estudo teve como objetivos determinar os fatores da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) e avaliar as perdas de solo, água, carbono orgânico e nutrientes para florestas plantadas de eucalipto na região dos Tabuleiros Costeiros, município de Aracruz, ES.

## CAPÍTULO 1

### RESUMO

MARTINS, Sérgio Gualberto. **Potencial erosivo da chuva na região dos Tabuleiros Costeiros, Aracruz, ES.** 2005. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.<sup>1</sup>

O conhecimento dos fatores que influenciam a erosão hídrica é de fundamental importância no planejamento do uso do solo. Dentre os fatores que afetam a erosão, a precipitação, expressa pela erosividade da chuva, é um dos elementos de maior importância. Assim, os objetivos deste estudo foram determinar a erosividade e a distribuição da chuva para a região dos Tabuleiros Costeiros no município de Aracruz, ES. Para o cálculo da erosividade foram utilizados dados pluviométricos de novembro de 1997 a maio de 2004, obtidos em estações climatológicas automatizadas, localizadas em área experimental da Aracruz Celulose S.A. que, para este estudo, geraram dados de 5 em 5 minutos. O valor de erosividade total anual determinado foi de  $7.893 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , sendo a erosividade da chuva dessa região classificada como média. O período crítico em relação à erosão devido à ocorrência de chuvas erosivas, para região de Aracruz é de outubro a março.

---

<sup>1</sup> Comitê Orientador: Marx Leandro Naves Silva - UFLA (Orientador); Nilton Curi - UFLA (Co-orientador).

## CHAPTER 1

### ABSTRACT

**MARTINS, Sérgio Gualberto. Erosive potential of rain in the Coastal Plain region- Aracruz, ES. Lavras: Federal University of Lavras, 2005. (Thesis-Doctorate in Soils and Plant Nutrition.).<sup>1</sup>**

The knowledge of the factors which influence water erosion is of fundamental importance in the planning of soil use. Among the factors affecting erosion, rainfall, expressed by the rain erosivity, is one of the elements of greatest importance. Thus, the objectives of this study were to determine erosivity and distribution of rain for the Coastal Plain region, at Aracruz county, ES. For the calculation of erosivity, rainfall data were utilized from November 1997 to May 2004, obtained in automated climatologic stations situated at experimental areas of Aracruz Celulose S.A., which for this study, generated data every five minutes. The value of the total annual erosivity determined was  $7,893 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ year}^{-1}$ , the rain erosivity of that region being classified as medium. The critical period relative to erosion, due to the occurrence of erosive rains for Aracruz region, is from December to March.

---

<sup>1</sup> Guidance Committee: Marx Leandro Naves Silva - UFLA (Adviser); Nilton Curi - UFLA.

## 1 INTRODUÇÃO

O conhecimento dos fatores que influenciam a erosão hídrica é de fundamental importância no planejamento do uso do solo. Dentre estes fatores, está a precipitação, expressa pela erosividade da chuva, é um dos mais importantes. A erosividade da chuva é representada pelo fator R na equação universal de perdas de solo (EUPS) e expressa pelo índice  $EI_{30}$ . Entre os fatores da EUPS, apenas o R (erosividade) é computado diretamente, a partir de registros pluviográficos, enquanto os demais são relativos à parcela-padrão proposta por Wischmeier & Smith (1978).

Baseando-se na relação entre intensidade e distribuição de gotas por tamanho (Wischmeier & Smith, 1958), estabeleceram-se às equações para cálculo da energia cinética. Este índice é obtido pelo produto da energia cinética total da chuva pela sua intensidade máxima em 30 minutos (Wischmeier & Smith, 1978). Considera-se que este índice representa adequadamente o efeito erosivo do impacto da gota de chuva bem como o da enxurrada (Lal, 1988).

Dentre os diferentes fatores de determinação da erosividade das chuvas no Brasil, o  $EI_{30}$  tem sido amplamente utilizado por vários pesquisadores, por apresentar boa correlação com as perdas de solo. A chuva natural apresenta considerável variabilidade quanto às suas características físicas. Este aspecto faz com que o potencial da chuva em causar erosão se diferencie de um local para outro.

No Brasil, existem valores de erosividade determinados para várias regiões. De acordo com Cogo (1988), a erosividade apresenta uma amplitude de 5.000 a 12.000  $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$ . Dentre os estudos de erosividade, podem-se destacar os de Dedeczek (1978) em Brasília, DF, que determinou o índice de erosividade, encontrando um valor de 8.319  $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$ . Utilizando dados de precipitação de um período de 22 anos, Val et al. (1986) avaliaram a

erosividade das chuvas no município de Lavras, MG, por meio do índice  $EI_{30}$ , obtendo o valor de  $6.837 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Carvalho et al. (1989), em Mococa, SP, encontraram um valor de  $7.747 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para dezenove anos de dados pluviométricos. Moraes et al. (1991) determinaram os índices  $EI_{30}$  médios anuais para as estações de Barranquinho e Flechas, do município de Cáceres, sudoeste do Mato Grosso, cujos valores foram de 8.493 e  $7.830 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , respectivamente. Silva et al. (1997) encontraram valores de erosividade para a região de Goiânia, GO, na ordem de  $8.353 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . A erosividade para Sete Lagoas, MG, determinada por Marques et al. (1998), foi de  $5.835 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Em Piraju, SP, Roque et al. (2001) determinaram a erosividade, cujo valor foi igual a  $7.074 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Bertol et al. (2002) determinaram a erosividade para Lages, SC e encontraram valores em torno de  $7.466 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Em Teodoro Sampaio, SP, Colodro et al. (2002) determinaram a erosividade na ordem de  $7.172 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Em Fortaleza, Silva & Dias (2003) chegaram a um valor de  $7.034 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Com o mesmo intuito dos autores anteriores, Lopes & Brito (1993) determinaram a erosividade da chuva para a região do médio São Francisco, PE e BA, e encontraram valores de  $EI_{30}$  da ordem de 3.619, 3.657 e  $4.039 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , respectivamente para Caatinga, PE, Bebedouro, PE, e Mandacaru, BA. Em Glória do Goitá, PE, Campos Filho et al. (1992) determinaram a erosividade da chuva, que foi de  $3.551 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ .

O conhecimento do comportamento das chuvas para as diferentes regiões é uma ferramenta importante para o planejamento conservacionista. Dessa forma, os objetivos deste estudo foram determinar a erosividade da chuva, bem como sua distribuição para a região de Aracruz, ES.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em área experimental da Aracruz Celulose S.A., no município de Aracruz, ES. A região onde se insere a unidade de pesquisa está situada entre as coordenadas 19°35' e 20°15' de latitude sul e 40°00' e 40°20' de longitude oeste.

O clima da região é Aw segundo a classificação de Köppen. A temperatura média anual das estações é de 23°C e a precipitação média é de 1.400 mm ano<sup>-1</sup>. As precipitações nos meses de primavera e verão representam 65% a 75% da precipitação total e, em apenas um ou dois meses do ano, as precipitações mensais são menores que 60 mm.

Para este estudo foram utilizados dados pluviométricos no período de janeiro de 1998 a maio de 2004. Os dados foram obtidos em estações climatológicas automatizadas que, para este estudo, geraram dados de 5 em 5 minutos.

A partir das precipitações, foram calculadas energias cinéticas totais das chuvas para cada evento. Foram consideradas chuvas individuais aquelas separadas por mais de seis horas. As chuvas menores que 10 mm, com intensidade máxima menor que 24 mm h<sup>-1</sup> em 15 minutos ou energia cinética menor que 3,6 MJ, foram consideradas não erosivas (De Maria, 1994). Para o cálculo da energia cinética, utilizou-se a equação proposta por Wischmeier & Smith (1958):

$$E = 0,119 + 0,0873 \text{Log} I,$$

em que E é a energia cinética em MJ (ha mm)<sup>-1</sup> e I é a intensidade da chuva em mm h<sup>-1</sup>. O índice EI<sub>30</sub> foi obtido a partir da multiplicação da energia cinética total (E) de uma chuva erosiva pela máxima intensidade ocorrida em um período de 30 minutos consecutivos (I<sub>30</sub>), segundo Wischmeier & Smith (1958).

O índice EI<sub>30</sub> foi obtido multiplicando-se a energia cinética (EC) pela

TABELA 1 Valores mensais e anuais dos números de chuvas erosivas, não erosivas e totais para o período de estudo.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
<b>Chuvas erosivas</b>													
1998	6	2	2	3	0	3	3	3	2	9	8	7	48
1999	4	3	4	3	2	4	2	3	1	4	7	10	47
2000	10	5	12	5	5	5	4	3	3	2	5	13	72
2001	5	3	7	4	5	3	3	8	6	9	10	11	74
2002	5	5	4	6	4	3	3	6	6	4	3	8	57
2003	4	4	1	6	0	1	5	1	1	5	3	12	43
2004	13	8	18	6	4	-	-	-	-	-	-	-	49
<b>Total</b>	<b>47</b>	<b>30</b>	<b>48</b>	<b>33</b>	<b>20</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>24</b>	<b>19</b>	<b>33</b>	<b>36</b>	<b>61</b>	<b>390</b>
<b>Média</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>56</b>
<sup>(1)</sup> Dp	3,5	2,0	6,1	1,4	2,2	1,3	1,0	2,5	2,3	2,9	2,8	2,3	12,5
<sup>(2)</sup> CV%	51	46	89	29	77	42	31	63	73	52	47	23	23
<b>Chuvas não erosivas</b>													
1998	9	3	6	3	4	13	4	3	8	13	11	9	86
1999	3	2	7	9	9	3	13	6	10	11	15	11	99
2000	13	7	9	10	7	9	7	9	14	9	11	3	108
2001	5	4	6	7	6	10	4	19	15	13	10	13	112
2002	13	5	4	11	6	10	8	6	8	4	9	7	91
2003	10	5	2	3	10	1	9	7	9	12	8	9	85
2004	15	9	9	16	4	-	-	-	-	-	-	-	53
<b>Total</b>	<b>68</b>	<b>35</b>	<b>43</b>	<b>59</b>	<b>46</b>	<b>46</b>	<b>45</b>	<b>50</b>	<b>64</b>	<b>62</b>	<b>64</b>	<b>52</b>	<b>634</b>
<b>Média</b>	<b>9,7</b>	<b>5,0</b>	<b>6,1</b>	<b>8,4</b>	<b>6,6</b>	<b>7,7</b>	<b>7,5</b>	<b>8,3</b>	<b>10,7</b>	<b>10,3</b>	<b>10,7</b>	<b>8,7</b>	<b>91</b>
<sup>(1)</sup> Dp	4,4	2,4	2,5	4,6	2,3	3,4	5,6	3,1	3,4	2,4	3,4	3,4	19,6
<sup>(2)</sup> CV%	46	48	41	55	35	44	74	37	32	23	32	40	22
<b>Total</b>													
1998	15	5	8	6	4	16	7	6	10	22	19	16	134
1999	7	5	11	12	11	7	15	9	11	15	22	21	146
2000	23	12	21	15	12	14	11	12	17	11	16	16	180
2001	10	7	13	11	11	13	7	27	21	22	20	24	186
2002	18	10	8	17	10	13	11	12	14	8	12	15	148
2003	14	9	3	9	10	2	14	8	10	17	11	21	128
2004	28	17	27	22	8	-	-	-	-	-	-	-	102
<b>Total</b>	<b>115</b>	<b>35</b>	<b>91</b>	<b>92</b>	<b>66</b>	<b>65</b>	<b>65</b>	<b>74</b>	<b>83</b>	<b>95</b>	<b>100</b>	<b>113</b>	<b>1024</b>
<b>Média</b>	<b>16</b>	<b>9</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>16</b>	<b>146</b>
<sup>(1)</sup> Dp	7,3	4,3	8,3	5,3	2,7	5,3	3,4	7,6	4,4	5,7	4,5	3,7	29,3
<sup>(2)</sup> CV%	44	46	64	41	29	57	36	71	37	42	31	23	20

<sup>(1)</sup> Desvio padrão. <sup>(2)</sup> coeficiente de variação.



TABELA 2 Valores mensais e anuais do volume de chuvas erosivas, não erosivas e totais para o período de estudo.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Volume de chuva erosiva - mm													
1998	152	46	45	38	0	18	34	58	14	384	105	124	1.016
1999	57	17	170	33	20	121	13	24	6	80	204	207	922
2000	89	31	150	117	23	34	42	20	81	14	168	210	988
2001	24	27	30	20	104	72	26	71	50	174	338	257	1.194
2002	41	153	63	67	33	19	35	62	115	26	54	114	782
2003	115	14	4	110	0	0,3	67	17	6	65	57	206	662
2004	204	161	490	119	-	-	-	-	-	-	-	-	974
Total	652	449	953	503	180	264	217	252	272	743	927	1117	6.527
Média	93	64	136	72	26	38	31	36	39	106	132	160	932
<sup>(1)</sup> Dp	68	64	168	43	39	45	18	24	45	139	108	56	171
<sup>(2)</sup> CV%	73	100	123	60	151	119	59	68	117	131	81	35	18
Volume chuva não erosiva -mm													
1998	22	2	11	2,7	4	18	6	1	21	25	15	29	157
1999	1	0,7	6	16	6	1	25	5	7	9	47	31	152
2000	15	5	8	7	6	14	6	14	28	18	32	2	154
2001	5	4	3	4	4	12	2	23	30	17	30	15	149
2002	11	5	5	10	15	19	12	9	8	8	14	2	120
2003	8	7	1	5	26	8	5	15	14	15	12	12	126
2004	25	9	5	25	4	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	86	33	39	69	65	71	55	67	107	91	150	92	926
Média	12	5	6	10	9	10	8	10	15	13	21	13	132
<sup>(1)</sup> Dp	9	3	3	8	9	7	8	8	10	6	14	13	32
<sup>(2)</sup> CV%	71	60	60	82	92	66	104	82	65	47	64	95	24
Volume total de chuva													
1998	174	49	56	40	4	36	40	59	36	408	120	153	1173
1999	28	18	177	49	26	122	8	28	12	89	251	238	1074
2000	104	36	158	124	29	47	48	33	109	32	200	212	1131
2001	29	31	33	23	109	84	28	95	80	191	368	272	1342
2002	52	158	69	76	49	38	47	72	123	34	68	116	901
2003	123	21	5	114	26	8	72	32	19	80	69	218	788
2004	229	170	495	144	54	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	738	482	992	571	296	335	272	319	379	835	1076	1208	7.501
Média	105	69	142	82	42	56	45	53	63	139	179	201	1.072
<sup>(1)</sup> Dp	76	66	168	47	34	41	15	27	47	144	118	57	181
<sup>(2)</sup> CV%	72	96	119	57	79	73	33	50	75	104	66	28	17

<sup>(1)</sup> Desvio padrão, <sup>(2)</sup> coeficiente de variação.

Os valores médios mensais de erosividade para o período estudado podem ser observados na Tabela 3. Os valores de erosividade apresentaram uma amplitude de 88 a 2.416 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> mês<sup>-1</sup>.

TABELA 3 Valores mensais e médios mensais de erosividade para o período de estudo.

Meses	Anos							Média	%	DP	CV%
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004				
-----MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> -----											
Jan	1.474	127	635	54	59	1.160	1.954	780	10	764	98
Fev	295	87	149	281	2.583	32	923	621	8	915	147
Mar	325	2.354	947	87	650	8	12.540	2.416	31	4.534	188
Abr	252	39	531	72	213	731	548	341	4	264	77
Mai	0	41	96	144	78	0	255	88	1	90	103
Jun	9	684	134	878	40	15	-	293	4	385	131
Jul	556	30	76	36	665	175	-	256	3	281	110
Ago	55	39	145	182	226	318	-	161	2	105	66
Set	25	3	377	132	165	9	-	118	1	144	122
Out	1.840	492	73	1.254	196	366	-	704	9	694	99
Nov	106	640	569	1.238	35	604	-	532	7	435	82
Dez	3.144	2.100	902	4.459	1.381	1.118	-	2.184	28	1.380	63
Total	8.082	6.636	4.635	8.817	6.291	4.535	16.220				

Em média, os meses de outubro a março contribuíram com 77,98% da erosividade total. Para quase a totalidade dos casos, o mês de dezembro apresentou os maiores valores de erosividade. No mês de março do ano de 2004, ocorreu uma precipitação de 490 mm, o que gerou uma erosividade de 12.540 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Tabela 3). No referido mês, em apenas um único dia ocorreu uma precipitação de 230 mm, gerando erosividade de 9.552 mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>. Este fato mostra que as chuvas erosivas na região ocorrem de maneira concentrada, causando altos valores de erosividade. Embora os meses citados acima tenham contribuído com 77,98% do valor total de erosividade, em abril de 2000, 2003 e 2004, em junho de 1999 e 2001 e em julho de 1998 e 2002 (Tabela 3) ocorreram também altos valores de erosividade.

De acordo com Rufino (1986), valores de erosividade mensal acima de  $500 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$  podem ser considerados como críticos. Neste estudo, em vários meses foram observados valores muito acima deste valor crítico, evidenciando a necessidade de se manter o manejo conservacionista na área de estudo, evitando, dessa forma, que eventos de chuvas com alto poder erosivo coincida com solo descoberto. O conhecimento das épocas do ano em que os riscos de erosão são mais eminentes é de fundamental importância para o planejamento das atividades de uso do solo.

Na Figura 1 observa-se a distribuição da precipitação e da erosividade média durante o ano. Os valores de erosividade acompanham as mesmas tendências de distribuição dos valores de precipitação. Os maiores valores de precipitação são relativos aos meses de outubro a março, enquanto que os menores valores ocorreram no período de abril a setembro.

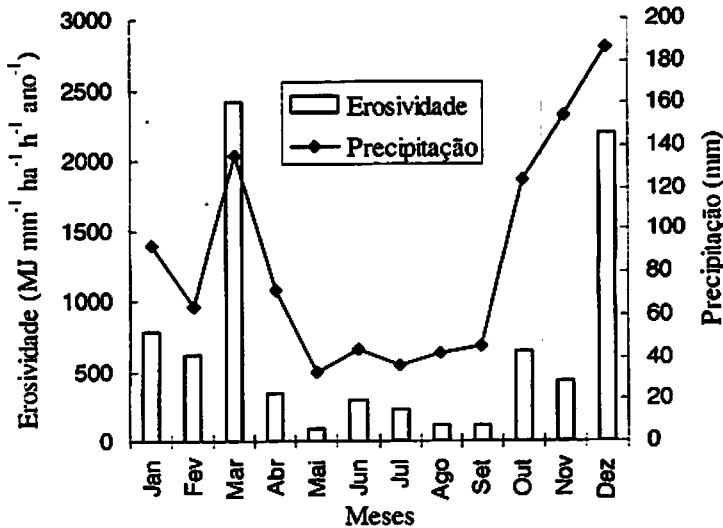


FIGURA 1 Distribuição da erosividade média e precipitação média para o período de estudo.

Os valores anuais de erosividade e precipitação para o período de estudo podem ser observados na Tabela 4. Os valores de precipitação variaram de 788 mm (valor obtido em 2003) a 1.342 mm (valor obtido em 2001). A média da precipitação para o período foi de 1.342 e ficou abaixo da média histórica da região que é de 1.071 mm. O valor médio anual de erosividade para a região variou de 4.535 a 16.220 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, sendo a erosividade média de 7.893 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

O valor médio de erosividade se encontra dentro da faixa estabelecida no Brasil, que é de 5.000 a 12.000 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, de acordo com estudos de Cogo (1988). O valor médio de erosividade para a região da Aracruz está bem próximo do valor de erosividade determinado por Dedecek (1978) para Brasília, DF; Carvalho et al. (1989) em Mocoça, SP; Moraes et al. (1991) em Cáceres e Flexas, MT; Silva et al. (1997) em Goiânia, GO; Roque et al. (2001) em Piraju, SP; Colondro et al. (2002) em Teodoro Sampaio, SP; Silva & Dias (2003) em Fortaleza, CE; e acima dos valores de erosividade determinados por Lopes & Brito (1993) em Bebedouro PE, Caatinga, PE e Mandacaru, BA; Campos Filho et al. (1992) em Glória do Goitacá, PE e Amado et al. (2002) em Santa Maria, RS.

TABELA 4 Valores anuais de erosividade e precipitação para o período de estudo.

Ano	Erosividade (MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	Precipitação (mm)
1998	8.082	1.173
1999	6.636	1.074
2000	4.635	1.131
2001	8.817	1.342
2002	6.291	901
2003	4.535	788
2004	16.220	1.091
Média	7.893	1.071
<sup>1</sup> DP	3.708	168
<sup>2</sup> CV%	47	16

<sup>(1)</sup> Desvio padrão. <sup>(2)</sup> Coeficiente de variação.

O Brasil apresenta ampla diversidade de ecossistemas, conferindo alta variabilidade climática. Assim, a variação nos valores de erosividade de uma região para outra é previsível.

Wischmeier (1976) propõe séries que abrangem períodos superiores a 20 anos, no sentido de incluir variações cíclicas comuns aos parâmetros climáticos as quais refletem na grande variabilidade temporal das chuvas e de sua erosividade. A determinação do fator R exige muito trabalho e tempo e, mesmo com o auxílio da informática, não dispensa a prévia leitura dos registros dos pluviógrafos, a separação e a anotação manual das chuvas individuais de suas lâminas (mm) e durações (minutos), dados indispensáveis ao cálculo do índice EI<sub>30</sub> de todas as chuvas individuais ocorridas nessas longas séries de dados (Silva & Dias, 2003). Além disso, existem poucos pluviógrafos com registros contínuos para longos períodos de observações e ou adequados para o cálculo da erosividade. Considerando esses obstáculos, vários pesquisadores vêm utilizando correlações entre erosividade, determinada em registros

pluviométricos com detalhamento de 5 em 5 minutos, com dados de pluviometria de precipitação diária de ampla disponibilidade em praticamente todos os municípios do país para agilizar a obtenção de séries históricas (Silva & Dias, 2003).

O período de retorno e a probabilidade de ocorrência da erosividade podem ser observados na Tabela 5. A erosividade estimada para os anos de 1968 a 2004 apresentou amplitude de 4.171,0 a 11.858,0 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. A erosividade de 11.858,0 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> apresentou um período de retorno de 215,4 anos com probabilidade de 0,46 (Tabela 5). Apesar da série histórica apresentar um período de retorno de 215,4 anos, para o valor de 11.858,0 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> estimado para o ano de 1980, em 2004, a erosividade determinada foi de 16220 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

TABELA 5 Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores de erosividade anuais para o período de 1969 a 2004.

Ano	Erosividade (MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	Número de ordem	Período de retorno ano	Probabilidade (%)
1986	4.171	1	1,1	92,83
2003	4.198	2	1,1	92,63
1998	4.270	3	1,1	92,09
1994	4.674	4	1,1	88,44
1999	4.960	5	1,2	85,22
1990	5.124	6	1,2	83,13
1987	5.248	7	1,2	81,43
1977	5.282	8	1,2	80,95
2002	5.317	9	1,2	80,43
1993	5.338	10	1,2	80,13
1988	5.417	11	1,3	78,94
1968	5.806	12	1,4	72,53
1972	5.848	13	1,4	71,78
2000	6.019	14	1,5	68,65
1971	6.044	15	1,5	68,17
1969	6.274	16	1,6	63,72
1982	6.364	17	1,6	61,92
1981	6.380	18	1,6	61,60
1997	6.428	19	1,6	60,63
2001	6.553	20	1,7	58,08
2004	6.746	21	1,9	54,04
1996	7.179	22	2,2	44,94
1976	7.501	23	2,6	38,29
1989	7.502	24	2,6	38,27
1991	7.877	25	3,2	30,98
1985	8.027	26	3,5	28,23
1970	8.034	27	3,6	28,12
1974	8.045	28	3,6	27,91
1979	8.745	29	5,9	16,96
1995	8.805	30	6,2	16,18
1978	8.953	31	7,0	14,34
1975	8.990	32	7,2	13,90
1983	9.227	33	8,8	11,31
1984	9.277	34	9,3	10,80
1973	9.886	35	16,8	5,95
1992	10.341	36	27,8	3,60
1980	11.858	37	215,4	0,46
Média	6.938			
<sup>1</sup> DP	1891			
<sup>2</sup> CV%	27,25			

<sup>(1)</sup>Desvio padrão. <sup>(2)</sup>Coefficiente de variação.

Dessa forma, a cada 215,4 anos com uma probabilidade de 0,46%, um valor igual ou superior a 11.858 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> poderá ocorrer novamente. O menor valor de erosividade anual observado foi de 4.171 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Neste caso, o período de retorno está em torno de 1,1 ano, com a probabilidade de 92,83%.



## 4 CONCLUSÕES

1. O período crítico em relação à erosão hídrica, devido à ocorrência de chuvas erosivas para região de Aracruz, é de outubro a março, notadamente para o mês de dezembro.
2. O volume de chuva erosiva apresenta 87,1% em relação ao total de chuva precipitada.
3. O valor de erosividade médio anual determinado foi de  $7.893 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , sendo a erosividade da chuva dessa região classificada como média.
4. O maior valor de erosividade determinado para a região foi de  $16.220 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ .

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMADO, T. J. C.; PROCHNOW, D.; ELTZ, F. L. F. Perdas de solo e água em períodos de anomalias climáticas: “EL NINŌ” e “LA NINĂ” no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 819-827, out./dez. 2002.

BERTOL, I. Índice de erosividade ( $EI_{30}$ ) para Lages (SC) - 1ª aproximação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 28, n. 10, p. 1205-1213, out. 1993.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O.; LEITE, D.; VISENTIN, D.; COGO, N. P. Erosividade das chuvas e sua distribuição entre 1989 e 1998 no município de Lages (SC). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 455-464, abr./jun. 2002

BEUTLER, J. F. *Erosão hídrica num Latossolo Vermelho Alumínoférrico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo*. 2000. 105 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.

CAMPOS FILHO, R.; SILVA, I. de F.; ANDRADE, A. P.; LEPRUN, J. C. Erosividade da chuva e erodibilidade do solo do Agreste de Pernambuco. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 27, n. 9, p. 1363-1370, set. 1992.

CARVALHO, M. P.; LOMBARDI NETO, F.; VASQUES FILHO, J.; CATANEO, A. Erosividade da chuva de Mococa (SP) analisada pelo índice  $EI_{30}$ . *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 13, n. 2, p. 243-249, maio/ago. 1989.

COGO, N. P. Conceitos e princípios científicos envolvidos no manejo de solo para fins de controle da erosão hídrica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., 1988, Campinas. *Anais....* Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1988. p. 251-262.

COLONDRO, G.; CARVALHO, M. P.; ROQUE, C. G.; PRADO, R. M. Erosividade da chuva: Distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica de Teodoro Sampaio (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 809-818, jul./dez. 2002.

DE MARIA, I. C. Cálculo da erosividade da chuva. In: INSTITUTO AGRÔNOMICO DE CAMPINAS. **Manual de programas de processamento de dados de campo e de laboratório para fins de experimentação em conservação do solo**. Campinas: IAC-SCS, 1994. n. p.

DEDECEK, R. A. Capacidade erosiva das chuvas de Brasília - DF. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., 1978, Passo Fundo. **Anais...** Passo fundo: EMBRAPA-SNLCS, 1978. p. 157-161.

ELTZ, F. L. F. **Perdas por erosão sob precipitação natural em diferentes manejos de solo e coberturas vegetais**. 1977. 97 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

HUDSON, N. W. **Soil conservation**. 3. ed. Ames, Iowa: University Press, 1995. 391 p.

LAL, R. Erodibility and erosivity. In: LAL, R. (Ed). **Soil erosion research methods**. Ankeny: Soil and water Conservation Society, 1988. p. 141-160.

LOPES, P. R. C.; BRITO, L. T. I. Erosividade da chuva no Médio São Francisco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n. 1, p. 129-133, jan./abr. 1993.

MARQUES, J. J. G. de S. M.; ALVARENGA, R. C.; CURI, N. Erosividade das chuvas na região de Sete Lagoas, MG. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33 n. 5, p. 761-768, maio 1998.

MORAIS, L. F. B. de; SILVA, V. de NASCHENVEN, T. M. de C.; HARDOIN, P. C.; ALMEIDA, J. E. L. de; WEBER, O. L. dos S.; BOEL, E.; DURIGON, V. Índice EI<sub>30</sub> e sua relação com o coeficiente de chuva do sudoeste do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 3, p. 339-344, set./dez. 1991.

ROQUE, C. G.; CARVALHO, M. P.; PRADO, R. M. Fator Erosividade da chuva de Piraju (SP): Distribuição, probabilidade de ocorrência, Período de retorno e correlação com o coeficiente de chuva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 147-156, jan./mar. 2001.

RUFINO, R. L. Avaliação do potencial erosivo da chuva para o Estado do Paraná: Segunda aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, n. 3, p. 279-281, set./dez. 1986.

**SCHICK, J. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico álico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo. 1999. 114 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.**

**SILVA, J. R. C.; DIAS, S. A erosividade das chuvas em Fortaleza (CE). II - Correlação com o coeficiente de chuva e atualização do fator R no período de 1962 a 2000. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 347-354, abr./jun. 2003.**

**SILVA, M. L. N.; FREITAS, P. L.; BLANCANEUX, P.; CURTI, N. Índices de erosividade das chuvas da Região de Goiânia (GO). Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 32, n. 10, p. 977-985, out. 1997.**

**VAL, L. A.; BAHIA, V. G.; FREIRE, J. C.; DIAS JÚNIOR, M. S. Erosividade das chuvas em Lavras - MG. Ciência e Prática, Lavras, v. 10, n. 2, p. 199-209, maio/ago. 1986.**

**WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington, DC: USDA, 1978. 58 p. (Agriculture Hand-book, 537)**

**WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationships to soil loss. Transactions of the American Geophysical Union, Washington, v. 39, p. 285-291, 1958.**

**WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Use and misuse of the universal soil loss equation. Journal Soil Water Conservation, Ankeny, v. 31, p. 5-9, 1976.**

## CAPÍTULO 2

### RESUMO

MARTINS, Sérgio Gualberto. **Erodibilidade para os principais solos ocorrentes nos Tabuleiros Costeiros e fator cobertura para a cultura do eucalipto.** 2005. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.<sup>1</sup>

Para estimar perdas de solo por erosão hídrica em diferentes situações, são utilizados modelos de predição da erosão, como a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS). A aplicação desses modelos no planejamento agrícola e ambiental depende da determinação dos fatores da EUPS, dentre estes a erodibilidade (fator K) e a cobertura vegetal (fator C). Este estudo teve como objetivo determinar a erodibilidade (fator K) para as principais classes de solos da região dos Tabuleiros Costeiros, no município de Aracruz, ES, o índice de cobertura vegetal e prática conservacionista (fator CP) para floresta de eucalipto plantada e mata nativa. O experimento foi instalado em uma microbacia hidrográfica de 286 ha, constituída de 189 ha de plantios de eucalipto e 88 ha de mata nativa e 8,0 ha de estradas, situada em área experimental da Aracruz Celulose S.A. Os solos estudados foram Argissolo Amarelo textura média/argilosa (PA1), Plintossolo Háplico (FX) e Argissolo Amarelo moderadamente rochoso (PA8). Para o cálculo da erodibilidade do solo e do índice de cobertura vegetal foram utilizados dados pluviométricos e de perdas de solo de novembro de 1997 a maio de 2004. As coletas de perdas de solo foram realizadas para cada evento de chuva considerada erosiva. Os valores de erodibilidade foram 0,007; 0,017 e 0,0004 t h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> para o PA1, FX e PA8, respectivamente. O índice de cobertura vegetal para a cultura do eucalipto e mata nativa foram 0,0026 e 0,00013 respectivamente. A partir da espacialização das perdas de solo, verificou-se que 272 ha da microbacia hidrográfica apresentaram perdas de solo abaixo da tolerância quando o uso era eucalipto.

---

<sup>1</sup> Comitê Orientador: Marx Leandro Naves Silva - UFLA (Orientador); Nilton Curi - UFLA (Co-orientador).

## CHAPTER 2

### ABSTRACT

MARTINS, Sérgio Gualberto. **Erodibility for the main soils occurring at the Coastal Plains and cover factor for the eucalyptus culture.** Lavras: Federal University of Lavras, 2005. (Thesis-Doctorate in Soils and Plant Nutrition).<sup>1</sup>

To estimate soil losses by water erosion in different situations, erosion prediction models such as Universal Soil Loss Equation (USLE) are used. The application of these models in the agricultural and environmental planning depends upon the determination of the USLE factors, among these the erodibility (K factor) and the cover factor (C factor). This study was designed to determine erodibility (K factor) for the main soil classes of the Coastal Plain region, at Aracruz county, ES, the index of vegetal cover and conservation practice (factor CP) for planted eucalyptus forest and native forest. The experiment was established in a 286 ha watershed, beg me including 189 ha of eucalyptus plantings, 88 ha of native forest and 8.0 ha of roads, situated experimental area of Aracruz Celulose S.A. The studied soils were: Yellow Argisol medium/clayey texture (PA1), Haplic Plinthosol (FX) and Yellow Argisol moderately rocky (PA8). For the calculation of soil erodibility and index of vegetal cover it were utilized values of rain erosivity obtained through rainfall data from November of 1997 to May of 2004, obtained in automated climatologic stations, which for this study generated data every five minutes. The collections of soil losses were performed for each rainfall considered erosive. The values of erodibility were 0.007; 0.017 and 0.0004 t h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> for PA1, FX and PA8, respectively. The index of vegetal cover for eucalyptus culture and native forest were 0.0026 and 0.00013, respectively. From the spacialization of soil losses, 272 ha of the studied watershed presented soil losses bellow tolerance, when the use was eucalyptus.

---

<sup>1</sup> Guidance Committee: Marx Leandro Naves Silva - UFLA (Adviser); Nilton Curi - UFLA.

## 1 INTRODUÇÃO

A Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) é um importante instrumento na predição das perdas de solo e no planejamento do controle da erosão hídrica. A EUPS foi desenvolvida nos Estados Unidos por Wischmeier & Smith (1965) e Wischmeier & Smith (1978) e tem sido utilizada em vários países. A EUPS é composta pelos seguintes fatores: perdas de solo (fator A - expresso em  $\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ), erosividade da chuva (fator R - expresso em  $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ), erodibilidade do solo (fator K - expresso em  $\text{ha t h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ), fator topográfico (fator LS - adimensional), que considera a declividade (D - expresso em %) e o comprimento de rampa do solo (L - expresso em m), índice de cobertura vegetal (fator C - adimensional) e práticas conservacionistas (fator P - adimensional) e, em muitos casos, o fator C pode ser determinado em associação com o fator P.

Na EUPS, a erodibilidade (fator K) consiste no fator responsável pela suscetibilidade do solo à erosão hídrica, sendo condicionada basicamente por atributos mineralógicos, químicos, morfológicos, físicos e biológicos do solo. A erodibilidade do solo representa o efeito dos processos que regulam a infiltração da água no solo, a desagregação pelo impacto da gota de chuva e a resistência ao transporte pelo fluxo superficial, os quais são responsáveis pelo comportamento do solo em relação aos processos erosivos (Lal, 1988). O valor de erodibilidade do solo é muito variável devido à ampla variedade de solos com propriedades diferenciadas, tornando arriscado estimar um valor com base unicamente na classificação do solo (El-Swaify & Dangler, 1982; Silva et al. 1997).

No Brasil, um número considerável de solos já tem o seu valor de erodibilidade determinado com o uso do simulador de chuva e chuva natural (Marques et al. 1997). Conforme levantamento realizado por Denardin (1990), Silva et al. (2000) e Silva (2003), a erodibilidade de solos com horizonte B

latossólico variou de 0,002 a 0,034 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, enquanto os solos que possuem horizonte B textural (Argissolos, Alissolos, Luvisolos, B nítico e B plânico) fica entre 0,004 a 0,045 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> (Denardin 1990 e Marques et al., 1997a,b). Para os Cambissolos, os valores encontrados foram 0,0115 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> (Bertol et al., 2002) e 0,024 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> (Silva, 2003).

Outro componente de grande importância na EUPS é o índice de cobertura vegetal (fator C). Este fator representa o efeito da cobertura vegetal na redução da erosão hídrica. O fator C na EUPS apresenta uma amplitude de zero a um para as culturas que apresentam menor e maior exposição do solo, respectivamente. O fator C é determinado a partir das razões de perdas de solo (RPS) e da distribuição local da erosividade da chuva do período estudado. A RPS expressa a relação entre as perdas de solo ocorridas no sistema com cobertura vegetal e as perdas de um solo descoberto (Wischmeier & Smith, 1978; De Maria & Lombardi Neto, 1997).

A dificuldade na obtenção do fator C está em estabelecer índices para o grande número de espécies vegetais, combinações de espécies, ciclo da espécie, espaçamento e disposição de cultivo. No Brasil, as pesquisas para a obtenção do fator C são direcionadas para as principais culturas agrícolas, inexistindo estudos desse fator para espécies florestais cultivadas.

Dentre os estudos desenvolvidos no Brasil para cálculo do fator C para culturas agrícolas, destacam-se os de Rufino et al. (1985) para a cultura do cafeeiro (fator C = 0,6568), De Maria & Lombardi Neto (1997) para a cultura do milho em diferentes sistemas de manejo e condições edafoclimáticas (fator C = 0,025 a 0,156), Bertol (2001) que determinou o fator C, obtendo valores de 0,0580 e 0,2150 para a cultura do trigo e de 0,0455 e 0,1430 para a cultura da soja, nos sistemas de manejo de semeadura direta e preparo convencional, respectivamente. Estudos de modelagem do fator cobertura utilizando



parâmetros climáticos e culturais foram desenvolvidos por Roloff & Bertol (1988) para as culturas do algodão, batata, feijão, milho e soja.

Na África Ocidental, destaca-se o estudo de Roose (1977) que determinou o fator C para as culturas do milho, sorgo e milheto em função da produtividade (fator C = 0,40 a 0,90), cultivo intensivo do arroz (fator C = 0,10 a 0,20), segundo ciclo do algodão e fumo (fator C = 0,50), cultura do amendoim em função da data de plantio (fator C = 0,40 a 0,80), cultura do abacaxi em diversos sistemas de manejo (fator C = 0,10 a 0,50), mandioca e inhame (fator C = 0,20 a 0,80) e sistema agroflorestal composto de palmeira, seringueira, café, cacau e plantas de cobertura (fator C = 0,10 a 0,30).

Para savanas ou pastagens em bom estado e sem pastejo, o valor do fator C é 0,010 e, em queimadas e ou superpastejo, o valor de fator C é 0,100 (Roose, 1977). Segundo o mesmo autor, florestas densas da região tropical apresentam fator C em torno de 0,001. Segundo a SCS (1972), citada por FAO (1977), os valores de cobertura vegetal para áreas florestadas, nos EUA, variaram de 0,001 a 0,090, em função do estande, da cobertura arbórea, serrapilheira e manejo do sub-bosque. Na Tailândia, Niskanen (1998) determinou o índice de cobertura para pastagens (fator C = 0,3), reflorestamento comercial e povoamentos com a espécie *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. com 10 anos de idade (fator C = 0,08) e sistema agroflorestal com a mesma espécie de eucalipto em consórcio com mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) conduzida por 3 anos (fator C = 0,20).

Kitahara et al. (2000) realizaram um levantamento bibliográfico de valores do fator C para várias espécies florestais do Japão, dentre os quais podem-se destacar os trabalhos Murai & Iwasaki (1972), Murai (1972) e Sekine (1994), que encontraram os seguintes valores do fator C: floresta nativa de *Pinus densiflora* (0,0045), floresta nativa de *Pinus densiflora* após incêndio com média intensidade (0,30), floresta plantada de *Larix leptolepis*, com 32 anos de idade (0,0051) e floresta plantada jovem de *Abies firma* (0,011).

O planejamento das práticas conservacionistas para o controle da erosão hídrica por meio dos fatores que compõem a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) é de fundamental importância na exploração racional e sustentável do solo. Portanto, este estudo teve como objetivo determinar a erodibilidade (fator K) para as principais classes solos da região dos Tabuleiros Costeiros, no município de Aracruz, ES, o índice de cobertura vegetal e prática conservacionista (fator CP) para floresta plantada de eucalipto e mata nativa, bem como estimar a distribuição de áreas na microbacia, conforme classes de perdas de solo.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma microbacia hidrográfica de 286 ha, apresentando 189 ha de plantio de eucalipto, 88 ha de floresta nativa e 8,0 ha de estradas, situada em área experimental da Aracruz Celulose S.A., no município de Aracruz, ES.

O clima da região é Aw, segundo a classificação de Köppen (Ometto, 1981), com temperatura de 23°C e precipitação média anual de 1.400 mm. A região onde se insere a unidade de pesquisa está situada entre as coordenadas 19°35' e 20°15' de latitude sul e 40°00' e 40°20' de longitude oeste. No período de estudo, a precipitação variou de 788 a 1.342 mm, tendo estes dados sido obtidos em estações climatológicas automatizadas.

O experimento foi instalado nas principais classes de solos existentes na região, originados de sedimentos da Formação Barreiras, a saber: Argissolo Amarelo textura média/argilosa (PA1), Plintossolo Háptico (FX) e Argissolo Amarelo moderadamente rochoso (PA8). Os tratamentos foram solo descoberto, solo sob cultivo de eucalipto (clones híbridos naturais de *Eucalyptus grandis*) e solo sob floresta ombrófila densa, segundo Veloso et al. (1991) ou floresta tropical subperenifólia (Embrapa, 2000).

O preparo do solo adotado para a implantação da cultura do eucalipto foi o cultivo mínimo com coveamento manual de 30x30x30 cm. Resíduos da colheita anterior, tais como cepa, folha, galhos e madeira da ponta das árvores permaneceram na área. Foi realizado o controle da mata-competição no pré-plantio utilizando-se o herbicida pós-emergente Round-up, aplicado em área total na dosagem de 3 litros ha<sup>-1</sup>, num total de duas aplicações. No controle da brotação do eucalipto foi utilizado também o Round-up aplicado na brotação na dosagem de 3 litros ha<sup>-1</sup>.

Foram utilizados dados de perdas de solo ocorridos no período de novembro de 1997 a maio de 2004. A avaliação das perdas de solo foi realizada por meio de parcelas instaladas no campo com dimensões de 12,0 x 24,0 m para o solo cultivado com eucalipto e 4,0 x 12,0 m para o solo sob floresta nativa e solo sem cobertura, com um total de 9 parcelas. As parcelas foram contornadas com chapas galvanizadas com 0,40 m de largura, que foram enterradas 0,20 m. O comprimento maior obedeceu ao sentido do declive, sendo escolhidas áreas com o declive máximo característico de cada classe de solo estudada (Capítulo 3, Tabela 1).

Na parte inferior das parcelas foram colocadas calhas coletoras, com cano plástico de 3 polegadas, para conduzir a enxurrada até os tanques coletores. O sistema coletor foi constituído de um tanque de sedimentação, com capacidade para 250 L, composto por um sistema divisor do tipo Geib, de 15 janelas e um tanque coletor de água e sedimentos com capacidade para 500 L. A partir do sistema divisor, por meio de uma canaleta, a água e sedimentos foram conduzidos para o tanque coletor. Assim, após o enchimento do tanque de sedimentação, 1/15 de água da enxurrada foi conduzida para o segundo tanque.

Dentro do tanque de sedimentação foi colocado um recipiente, calibrado em relação ao volume, para coleta de sedimentos. As coletas foram realizadas a cada evento de chuva considerada erosiva, segundo metodologia de Cogo (1978a,b).

Para o cálculo da erosividade, foram utilizados dados pluviométricos de novembro de 1997 a maio de 2004, obtidos em estações climatológicas automatizadas que, para este estudo, geraram dados de 5 em 5 minutos. A partir das precipitações foram calculadas energias cinéticas totais das chuvas para cada evento. Foram consideradas chuvas individuais aquelas separadas por mais de seis horas. As chuvas menores que 10 mm, com intensidade máxima menor que 24 mm h<sup>-1</sup>, em 15 minutos ou energia cinética menor que 3,6 MJ, foram

consideradas não erosivas (De Maria, 1994). A energia cinética foi obtida de acordo com a equação proposta por Wischmeier & Smith (1958):

$$E = 0,119 + 0,0873 \text{Log} I,$$

em que E é a energia cinética, em MJ ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> e I é a intensidade da chuva, em mm h<sup>-1</sup>. O índice EI<sub>30</sub> foi obtido a partir da multiplicação da energia cinética total (E) de uma chuva erosiva pela máxima intensidade ocorrida em um período de 30 minutos consecutivos (I<sub>30</sub>), segundo Wischmeier & Smith (1958). Pelo somatório dos valores do índice EI<sub>30</sub>, obtido em MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> em cada mês, obteve-se o índice mensal e somando-se os valores mensais, obteve-se o índice anual.

Os valores de erodibilidade foram obtidos por meio de regressão linear simples ( $y = a + bx$ ), utilizando as perdas de solo no eixo (y) e erosividade da chuva no eixo (x) em que o coeficiente b, após correções do declive, representa a erodibilidade do solo.

O fator erodibilidade do solo foi corrigido para o declive referente à parcela padrão (9 %), conforme preconizado por Wischmeier & Smith (1978) e transformado para o sistema internacional de unidades proposto por Bertoni et al. (1975):

$$LS = L^{0,5} 100^{-1} (1,36 + 0,975S + 0,1385S^2),$$

em que LS é o fator topográfico, adimensional; L é o comprimento de rampa, expresso em m e S é a declividade do terreno, expresso em %.

Os dados gerados nas parcelas de perdas de solo sob chuva natural (parcelas com solo descoberto, eucalipto e floresta nativa) foram utilizados para estabelecer a razão de perdas de solo em cada estágio da cultura do eucalipto, para determinação do fator cobertura do solo. Para a determinação dos valores de razão de perdas de solo (RPS) e do fator cobertura do solo, foram estabelecidos estágios da cultura do eucalipto em função dos anos de condução do experimento, além de ser utilizada a floresta nativa no estágio atual.

A razão de perdas de solo (RPS) é expressa pela relação entre as perdas de solo da parcela com eucalipto e as perdas de solo da parcela descoberta, em cada um dos estágios da cultura do eucalipto. O cálculo foi feito segundo Wischmeier & Smith (1978), utilizando a seguinte equação:

$$RPS_i = \frac{PC_i}{PD_i}$$

em que RPS é a razão de perdas de solo; i é o estágio da cultura (considerando o ciclo de 7 anos do eucalipto para a produção de celulose), PC é a perda de solo no tratamento com eucalipto ou floresta nativa ( $Mg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ ), e PD é a perda de solo no tratamento em solo descoberto ( $Mg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ ).

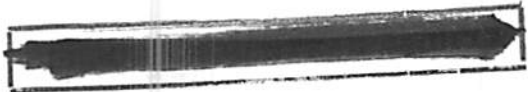
Com os valores das RPS de cada estágio do eucalipto e da floresta nativa e a distribuição da erosividade em cada local, foi calculado o fator cobertura do solo para as duas situações descritas:

$$C = \sum \frac{RPS_i}{R_i}$$

em que C é o fator cobertura do solo, i é o estágio da cultura (considerando o ciclo de 7 anos do eucalipto para produção de celulose), RPS é a razão de perdas de solo e R é a erosividade da chuva.

Foram coletadas amostras dos horizontes A e B dos referidos solos. Na fração TFSA (inferior a 2 mm) foram feitas análises de carbono orgânico segundo Embrapa (1997). Foi realizada também análise textural utilizando-se o método da pipeta (Day, 1965) com e sem o emprego de dispersante químico (NaOH 1N). A fração areia foi fracionada em areia muito grossa, areia grossa, areia média, areia fina e areia muito fina.

A densidade do solo foi determinada em amostras com estrutura indeformada, coletadas com amostrador de Uhland (Blake & Hartge, 1986a) e a densidade de partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico (Blake & Hartge, 1986b). O volume total de poros foi determinado conforme



Danielson & Sutherland (1986). Agregados de diâmetro entre 7,93 e 4,76 mm foram submetidos, com pré-tratamento, ao teste de estabilidade de agregados em água por meio de peneiramento (Kemper & Rosenau, 1986). A permeabilidade do solo foi avaliada no campo por meio da taxa constante de infiltração de água a 15 cm de profundidade, com duas cargas constantes de 3 e 6 cm de coluna d'água, utilizando o permeâmetro de Guelph (Reynolds et al., 1992). Na Tabela 1 observam-se os resultados dos atributos mineralógicos, químicos, físicos e morfológicos dos solos estudados.

TABELA 1 Atributos mineralógicos, químicos, físicos e morfológicos dos solos estudados para condição de mata nativa.

Atributos		PA1		FX		PA8	
		Hor. A	Hor.B	Hor. A	Hor. B	Hor.A	Hor.B
Ct <sup>1/</sup>	(g kg <sup>-1</sup> )	-	890	-	810	-	880
Gb <sup>1/</sup>	(g kg <sup>-1</sup> )	-	50	-	50	-	50
SiO <sub>2</sub> <sup>1/</sup>	(g kg <sup>-1</sup> )	78	134	125	184	75	169
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>1/</sup>	(g kg <sup>-1</sup> )	80	131	104	168	59	167
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>1/</sup>	(g kg <sup>-1</sup> )	34	55	160	230	25	42
MO	(g kg <sup>-1</sup> )	13,9	7,9	31	9,8	32,5	13,6
AT	(g kg <sup>-1</sup> )	700	490	670	480	480	240
AMG	(g kg <sup>-1</sup> )	82	60	71	62	201	61
AG	(g kg <sup>-1</sup> )	216	110	182	116	126	61
AM	(g kg <sup>-1</sup> )	171	160	175	105	69	50
AF	(g kg <sup>-1</sup> )	175	120	177	135	65	51
AMF	(g kg <sup>-1</sup> )	56	40	65	62	19	17
Silte	(g kg <sup>-1</sup> )	80	60	60	200	110	110
Argila	(g kg <sup>-1</sup> )	220	450	270	320	410	650
IF	(%)	77	96	89	86	78	73
Ds	(Mg m <sup>-3</sup> )	1,52	1,75	1,47	1,65	1,47	1,58
Dp	(Mg m <sup>-3</sup> )	2,54	2,64	2,55	2,62	2,49	2,57
PT	(m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	40,0	33,0	42,0	37,0	41	38,0
PERM	(mm h <sup>-1</sup> )	15,83		35,55		53,03	
DMG	(mm)	4,72	2,82	4,91	2,21	4,71	3,44
Grau da estrutura <sup>2/</sup>		m	m	m	m	m	m
Tamanho da estrutura <sup>2/</sup>		g	g	p	p	p	p
Forma da estrutura <sup>2/</sup>		gn	bs	gn	bs	gn	bs
Consistência (seco) <sup>2/</sup>		s	fr	mc	fr	mf	mf
Consistência (umido) <sup>2/</sup>		pl	mpl	mpl	mpl	mpl	mpl
Consistência (molhado) <sup>2/</sup>		mpl	mpg	mpg	mpg	mpg	mpg

<sup>1/</sup>Fonte: Duarte et al. (2000); <sup>2/</sup>Fonte: Embrapa (1994); Ct: caulinita; Gb: gibbsita; MO: matéria orgânica; AT: areia total; AMG: areia muito grossa; AG: areia grossa; AM: areia média; AF: areia fina; AMF: areia muito fina; IF: índice de floculação; Ds: densidade do solo; Dp: densidade de partículas; PT: porosidade total; PERM: permeabilidade do solo à água; DMG: diâmetro médio geométrico; m: moderada; f: fraca; g: grande; p: pequena; gn: granular; bs: blocos subangulares; s: solto; fr: friável; mc: macio; mf: muito friável; pl: plástico; mpg: muito pegajoso; mpl: muito plástico.



Para a confecção dos mapas de estimativas de perdas de solo por erosão hídrica nas condições de solo descoberto (erosão potencial) e solo sob eucalipto, foi utilizada uma base de dados cartográficos existentes (mapas topográficos, solos e vegetação) e fatores da EUPS gerados no presente estudo como a erosividade e erodibilidade. O fator topográfico (fator LS), o índice de cobertura vegetal e práticas conservacionistas (fator CP) para floresta plantada de eucalipto (clones híbridos de *Eucalyptus grandis*) e, conduzida no sistema de cultivo mínimo durante 7 anos e mata nativa) foram utilizados. Estes fatores foram integrados numa base de dados georreferenciados por meio do programa SPRING v.4.0 (Câmara et al., 1996).

O fator topográfico (fator LS) foi determinado com base nas informações digitais de mapas topográficos, tendo para o comprimento de rampa (L), sido consideradas como limite as vertentes e a declividade. A classe de declividade foi definida segundo Lemos & Santos (1996).

Como referência para determinar se as perdas de solo estimadas estavam dentro da faixa de adequação do sistema de manejo, utilizou-se a tolerância de perdas de solo. A tolerância foi determinada a partir de dados de perfis de solos representativos da região, apresentados em Embrapa (2000) e complementados com observações e determinações de campo. As tolerâncias de perdas de solo admissíveis foram determinadas pela metodologia proposta por Smith & Stamey (1964), Lombardi Neto & Bertoni (1975) e Galindo & Margolis (1989). Dos resultados determinados pelas três metodologias foi obtido um valor médio. Esse valor foi convertido em milímetros e, então, a tolerância foi convertida em  $\text{Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ , com base nos valores de densidade do solo. A tolerância de perdas de solo para o PA1, FX e PA8, foi de 10, 13 e 11  $\text{Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ , respectivamente.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na determinação da erodibilidade, o coeficiente angular (b) das equações de regressão, obtidas por meio das variáveis erosividade, expressa pelo índice  $EI_{30}$  e perdas de solo (A), apresenta, segundo Wischmeier (1972), uma boa estimativa do fator erodibilidade. Neste estudo, foram avaliadas 1.024 chuvas, das quais 390 foram erosivas e 634 não erosivas. Partindo-se dos eventos de chuvas erosivas, determinou-se a equação linear para os solos em estudo. Assim, os coeficientes dos modelos lineares podem ser observados na Tabela 2.

TABELA 2 Parâmetros das equações de regressão da forma  $y = a + bx$ , entre os índices  $EI_{30}$  de erosividades anuais da chuva (x) e perdas de solo (y) e coeficientes de determinação ( $R^2$ ), em condições de solo descoberto.

Solo	Parâmetros da equação		Coeficiente de determinação ( $R^2$ )
	a	b	
PA1	0,0215	0,0015	0,96**
FX	-0,0121	0,0026	0,90**
PA8	0,6477	0,0027	0,98**

\*\* $R^2$ , Significativos a 0,01%

Os modelos  $A = 0,0015EI_{30} + 0,0215$  ( $R^2 = 0,96$ ) para o PA1,  $A = 0,0029EI_{30} - 0,0518$  ( $R^2 = 0,90$ ) para o FX e  $A = 0,0027EI_{30} + 0,6477$  ( $R^2 = 0,98$ ), para o PA8, consideraram valores anuais e foram os modelos que apresentaram os maiores coeficientes de determinação. Para condições climáticas da região temperada, Wischmeier (1959) encontrou coeficiente de determinação de (0,96) entre perdas de solo e o  $EI_{30}$ .

Os modelos lineares foram corrigidos para que as coordenadas iniciais partissem da origem, apresentando-se da seguinte forma:  $P = 0,0015 EI_{30}$  ( $R^2 = 0,93$ ),  $P = 0,0026 EI_{30}$  ( $R^2 = 0,89$ ) e  $P = 0,0027 EI_{30}$  ( $R^2 = 0,951$ ) para o PA1, FX e PA8, respectivamente. Para a determinação da erodibilidade, o coeficiente angular de cada equação foi corrigido pelo fator topográfico. O fator topográfico (LS) foi de 0,23; 0,17 e 6,45 para o PA1, FX e PA8, respectivamente. O coeficiente linear b, depois de corrigido pelo fator topográfico dos respectivos solos, permitiu obter os valores de erodibilidade dos solos que foram estimadas em 0,007; 0,017 e 0,0004 t h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, para o PA1, FX e PA8, respectivamente. Estes valores foram classificados como baixos para o PA1, PA8 e moderado para o FX, conforme Foster et al. (1981). Os valores de erodibilidade encontrados neste estudo, com exceção do PA8, estão dentro da faixa de erodibilidade para os solos brasileiros com B textural, determinados por Denardin (1990) e Marques et al. (1997).

Os valores de erodibilidade, classificados em baixo e moderado, obtidos para os solos estudados, estão relacionados à sua constituição mineralógica e química. Estes solos apresentam mineralogia essencialmente caulínica e baixos teores de óxidos de ferro (Tabela 1), contribuindo para uma alta coesão. Apesar da baixa permeabilidade do solo à água, estas forças de atração determinadas pela coesão dificultam a quebra de agregados provocada pelo impacto das gotas de chuva, o que aumenta a resistência destes solos à erosão hídrica em sulcos ou voçorocas.

Adicionam-se a estes aspectos, os baixos valores de silte e areia muito fina (Tabela 1). Segundo Wischmeier & Mannering (1969), a fração de areia muito fina tem o comportamento do silte, favorecendo os processos erosivos. Outros aspectos observados neste estudo foram os altos valores do diâmetro médio geométrico (DMG) e o índice de floculação (Tabela 1) que, certamente, contribuíram para os valores baixos e moderados de erodibilidade dos solos

estudados. De acordo com Angulo (1984), um dos parâmetros que melhor se correlacionam com a erodibilidade é a agregação do solo, determinada por meio da estabilidade de agregados em água, expressa pelo diâmetro médio geométrico (DMG). De acordo com este autor, quanto menor o DMG, maior é a erodibilidade do solo. Embora os solos tenham apresentado valores baixos de permeabilidade (Tabela 1), o que poderia conferir a estes solos alta erodibilidade, o balanço dos outros atributos avaliados parece superar este aspecto, conferindo a estes solos baixos valores de erodibilidade.

A Figura 1 apresenta as regressões lineares simples obtidas entre a erosividade  $EI_{30}$  e as perdas de solo. Observa-se que, mesmo para condições de solo descoberto para uma erosividade máxima de  $1.000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  no PA1 e 1500 no FX, as perdas de solo ficaram abaixo da tolerância de perdas de solo. Por outro lado, no PA8, para uma erosividade de  $4.000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ , as perdas de solo superam a tolerância de perdas de solo.

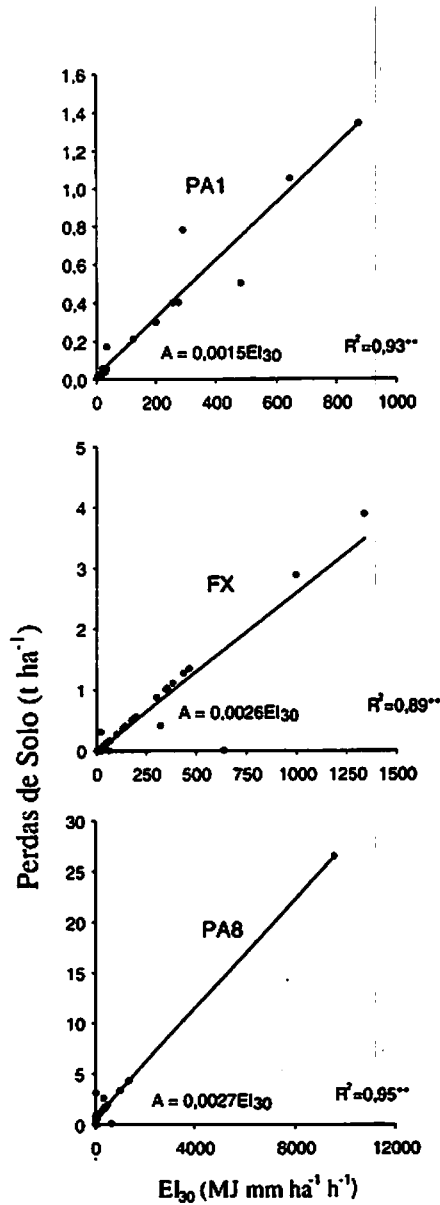


FIGURA 1 Relação entre perdas de solo e a erosividade (EI<sub>30</sub>), para os solos PA1, FX e PA8 da região dos Tabuleiros Costeiros, município de Aracruz, ES (\*\*R<sup>2</sup>, Significativos a 0,01%).

Os valores de perdas de solo, erosividade expresso pelo índice ( $EI_{30}$ ), razão de perdas de solo (RPS) e fator C podem ser observados na Tabela 3. O fator C para a cultura do eucalipto obtido por meio das razões de perdas de solo e do índice de erosividade foi de 0,0026 e, para a mata nativa, foi 0,00013. No Brasil, valores do fator C para a cultura do eucalipto são inexistentes. A determinação deste parâmetro é de fundamental importância na aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) a fim de subsidiar o planejamento das atividades de uso da terra.

O fator C para o eucalipto para estas condições de estudo está bem próximo do fator C para a cultura do *Pinus densiflora* e *Larix leptolepis* verificado por Kitahara et al. (2000) e muito abaixo do fator C para as culturas agrícolas no Brasil e na África Ocidental (De Maria & Lombardi Neto, 1997; Roose, 1977; Rufino et al., 1985; Bertol, 2001).

Este baixo valor do fator C para a cultura do eucalipto sugere de uma forma bem coerente, que o eucalipto proporciona uma boa cobertura vegetal ao solo, atenuando, de forma eficiente, os processos erosivos. Em mata nativa ou em plantios de eucalipto, as gotas de água da chuva são dissipadas pelo dossel das árvores, escorrendo posteriormente pelos galhos, folhas e tronco, que também funcionam como dissipadores de energia. Quando a água da chuva chega à superfície do solo, encontra uma rica camada de folhas e galhos denominada serrapilheira que atenua ainda mais o arraste das partículas do solo.

TABELA 3 Perdas de solo, erosividade ( $EI_{30}$ ), razão de perdas de solo (RPS) e fator C.

Ano	Perdas de solo ( $Mg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ )			$EI_{30}$ $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$	RPS		Fator C	
	Euc	Mata	SD		Euc	Mata	Euc	Mata
1997	1,77	0,06	1,77	1.896,0	1	0,0338	0,00052	0,000017
1998	2,10	0,07	0,65	1.768,0	3,2307	0,1076	0,00182	0,000060
1999	0,58	0,04	0,95	6.636,0	0,6105	0,0421	0,00009	0,006344
2000	0,21	0,08	0,76	4.635,0	0,2763	0,1052	0,00005	0,000022
2001	0,10	0,05	1,65	8.817,0	0,0606	0,0303	0,000006	0,0000034
2002	0,01	0,01	1,33	6.291,0	0,0075	0,0075	0,000001	0,0000011
2003	0,016	0,0099	0,10	4.535,0	0,1573	0,0973	0,00003	0,000021
2004	0,068	0,0175	0,79	16.220,0	0,0860	0,0221	0,000005	0,0000013
							0,0025	0,00013

A partir dos fatores da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) determinados neste estudo, sendo:  $R = 7.893 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ,  $CP = 0,0025$  para o eucalipto,  $0,0013$  para mata nativa e  $K = 0,007, 0,017$  e  $0,0004 \text{ t h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  para o PA1, FX e PA8, respectivamente, utilizou-se o programa SPRING 4.0 para a determinação da distribuição das áreas conforme as classes de perdas de solo na microbacia piloto da Aracruz Celulose S.A. As estimativas de perdas de solo considerando a área ocupada com eucalipto e mata nativa, podem ser observadas na Figura 2. Observa-se, nesta figura, a distribuição das áreas na microbacia em hectares, conforme classes de perdas de solo, expressas em  $\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ .

A microbacia apresenta área de 282 ha. Praticamente 272 ha desse total apresentam perdas abaixo da tolerância de perdas de solo quando o uso do solo é o eucalipto e mata nativa conduzida no sistema de cultivo mínimo. Os 10 ha que apresentaram perdas de solo acima da tolerância, possivelmente se relacionam-se às áreas de aceiros, estradas e carregadores. Este aspecto relata a importância de manter a cobertura vegetal do solo e a eficiência da cultura do eucalipto, quando manejada de forma adequada.



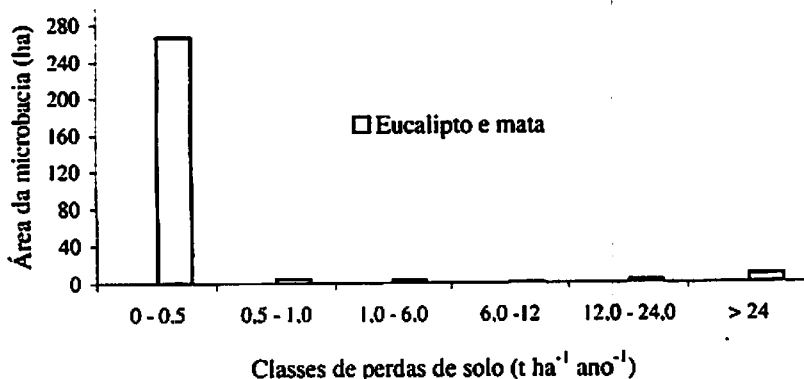


FIGURA 2 Distribuição de áreas na microbacia, conforme as classes de perdas de solo na microbacia ocupada com eucalipto e mata nativa.

Estudos desta natureza foram realizados também por Castro & Valério Filho (1997) que determinaram, por meio de simulação cartográfica em Sistema de Informação Geográfica (SIG), a expectativa de perdas de solo nesta mesma área. Estes autores superestimaram as perdas de solo para esta microbacia, pois os valores de erodibilidade e de cobertura vegetal utilizado pelos mesmos foram superestimados. Nesse sentido, Castro & Valério Filho (1997) recomendaram maior detalhamento dos parâmetros da EUPS para uma melhor estimativa de perdas de solo nesta microbacia.

A EUPS é amplamente utilizada no Brasil e no mundo e pode ser trabalhada junto com o SIG. No entanto, é preciso que as bases de dados sejam amplas e realmente determinadas para cada situação, para entrada no SIG, no intuito de evitar distorções nas interpretações dos valores de perdas de solo estimadas.

Estudos devem ser realizados visando à escolha de uma metodologia adequada para determinação do fator topográfico (LS) para uso em ambiente computacional (Machado, 2003). Estes estudos devem considerar diferentes modelos e metodologias existentes na literatura e ou novas propostas que melhor

ajustem as condições topográficas dos Tabuleiros Costeiros. Outro estudo relevante está relacionado aos ajustes para os parâmetros hidrológicos da bacia hidrográfica. Estes ajustes permitirão a aplicação do modelo em outras áreas, tornando-se uma ferramenta ágil e efetiva no planejamento conservacionista. Estas considerações foram feitas também por Kitahara et al. (2000) em estudos desenvolvidos no Japão para a determinação dos fatores da EUPS em áreas de floresta nativa e plantios comerciais para várias essências florestais.

#### 4 CONCLUSÕES

1. Os valores de erodibilidade determinados para os solos PA1, FX e PA8 foram de 0,007; 0,017 e 0,0004 t h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, respectivamente.
2. A cobertura vegetal (fator CP) para a cultura do eucalipto e mata nativa foi de 0,0026 e 0,00013, respectivamente.
3. A partir da espacialização das perdas de solo, 272 ha da microbacia hidrográfica estudada apresentaram perdas de solo abaixo da tolerância, para o solo utilizado com eucalipto no sistema de cultivo mínimo e áreas de preservação permanente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÂNGULO, R. J.; ROLOFF, G.; SOUZA, M. L. P. Relações entre a erodibilidade e agregação, granulometria e características químicas de solos brasileiros.

**Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 8, p. 133-138, 1984

BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O. Razão de perdas de solo e fator C para as culturas de soja e trigo em três sistemas de preparo em um Cambissolo Húmico Alumínico.

**Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 451-461, 2001.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O.; LEITE, D.; VISENTIN, D.;

COGO, N.P. Erosividade das chuvas e sua distribuição entre 1989 e 1998 no

município de Lages (SC). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 455-464, 2002

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.; BENATI JÚNIOR, R. **Equação de**

**Perdas de Solo**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1975. 25 p. (Boletim Técnico, 21)

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986a. v. 1, p. 363-375.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Particle density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986b. v. 1, p. 377-382.

CAMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J.; MITSUO, F.;

SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Journal Computers & Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403, May/June 1996.

CASTRO, A. G.; VALÉRIO FILHO, M. Simulação da expectativa de perdas de solo em microbacia sob diferentes manejos florestais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 419-426, 1997.

COGO, N. P. Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas por erosão em condições de chuva natural: I - Sugestões gerais, medição do volume, amostragem e quantificação de solo e água da enxurrada (1ª Aproximação). In:

ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., 1978, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1978a. p. 75-97.

COGO, N. P. Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas por erosão em condições de chuva natural: II - Alguns conceitos básicos e modelos de uma ficha para registro das características da chuva e perdas de solo e água (1ª Aproximação). In: ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1978b. p. 99-107.

DANIELSON, R. E.; SUTHERLAND, P. L. Porosity. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. v. 1, p. 443-61.

DAY, P. R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C. A. (Ed). **Methods of soil analysis**. Madison: ASA, 1965. p. 545-566.

DENARDIN, J. R. **Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. 1990. 106 p. Tese (Doutorado em solos e nutrição de plantas)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

DE MARIA, I. C. Cálculo da erosividade da chuva. In: **Manual de programas de processamento de dados de campo e de laboratório para fins de experimentação em conservação do solo**. Campinas: IAC-SCS, 1994.

DE MARIA, I. C.; NETO, F. L. Razão de perdas de solo e fator C para sistemas de manejo da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 263-270, abr/jul. 1997.

DUARTE, M. N.; CURI, N.; PÉREZ, D. V.; KÄMPF, N.; CLAESSEN, M. E. C. Mineralogia, Química e Micromorfologia de Solos de uma microbacia nos Tabuleiros Costeiros do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1237-1250, jun. 2000.

EI-SWAIFY, S. A.; DANGLER, E. W. Rainfall erosion in the tropics: a state art. In: KREBS, E. D. **Determinants of soil loss tolerance**. Madison: American society of agronomy, 1982. p. 1-25.

**EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA.**  
**Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos.**  
2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

**EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA.**  
**Levantamento generalizado e semidetalhado de solos da Aracruz Celulose S.A. no estado do Espírito Santo e no extremo sul do estado da Bahia e sua aplicação aos plantios de eucalipto.** Rio de Janeiro, 2000. 93 p.  
**FAO. Soil conservation and management.** Roma, 1977. (FAO. Soil Bulletins, 33).

**FOSTER, G. R.; MCCOOL, D. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C.**  
Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. **Journal Soil Water Conservation**, Ankeny, v. 36, n. 4, p. 355-359, 1981.

**GALINDO, I. C. L.; MARGOLIS, E.** Tolerância de perdas por erosão para solos do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, n. 1, p. 95-100, jan./abr. 1989.

**KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C.** Aggregate stability and size distribution. In: **KLUETE, A. (Ed.). Methods of soil analysis.** Madison: American Society of Agronomy, 1986. v. 1, p. 425-442.

**KITAHARA, H.; OKURA, Y.; SAMMORI, T.; KAWANAMI, A.** Application of universal soil loss equation (USLE) to mountainous forest in Japan. **Journal forest research**, Nagano, v. 5, p. 231-226, 2000

**LAL, R.** Erodibility and erosivity. In: **LAL, R. (Ed.). Soil erosion research methods.** Ankeny: Soil and water Conservation Society, 1988. p. 141-160.

**LEMOS, R. C.; SANTOS, R. D.** Manual de descrição e coleta de solos no campo. 2. ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 83 p.

**LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J.** Tolerância de terra para alguns solos do Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônômico, 1975. 12 p. (IAC. Boletim Técnico, 28)

**MACHADO, V. R.; SILVA, M. L. N.; MARQUES, J. J. G. S. M.; CURI, N.** Geoprocessamento no mapeamento de perdas de solo em sistemas florestais nos Tabuleiros Costeiros. In: **CURI, N.; SILVA, M. L. N.; DIAS JUNIOR, M. S.;**

MARQUES, J. J. G. S. M. **Relatório técnico anual do projeto de pedologia e manejo de solos em plantios de eucalipto**. Lavras: UFLA, 2003. p. 22-46.

MARQUES, J. J. G. S. M.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; LIMA, J. M.; SILVA, M. L. N.; CAROLINO DE SÁ, M. A. Adequação de métodos indiretos para estimativa da erodibilidade de solos com horizonte B textural no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 447-456, jul./set. 1997a.

MARQUES, J. J. G. S. M.; CURI, N.; LIMA, J. M.; FERREIRA, M. M.; SILVA, M. L. N.; FERREIRA, D. F. Estimativa e comparações dos fatores erosividade das chuvas e erodibilidade de solos com horizonte B textural no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 457-465, jul./set. 1997b.

MURAI, H.; IWASAKI, Y. Effect of the conversion of Forest into grass land on sediment transport. *Trans. 83th Meet. Jpn*, p. 358-361, 1972.

MURAI, H. Condições and surface erosion of Forest: Effects of ground cover. **Ringyo Gijutsu**, Tokyo, v. 412, p. 8-11, 1976.

NISKANEM, A. Value of external environmental impacts of reforestation in Thailand. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 26, p. 287-297, 1998.

OMETTO, J.C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Ceres, 1981. 425 p.

RESCK, D. V. S.; FIGUEIREDO, M. de S.; FERNANDES, B.; RESENDE, M.; SILVA, T. C. A. da. Erodibilidade de um podzólico vermelho- amarelo câmbico distrófico fase terraço, localizado na zona da mata (MG), determinada com simulador de chuva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 5, n. 1, p. 7-14, jan./abr. 1981.

RESENDE, M.; ALMEIDA, J.R. Modelos de predição de perdas de solo: uma ferramenta para manejo e conservação do solo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 128, p. 38-54, 1985

REYNOLDS, W. D.; ELRICK, D. E. A method for simultaneous in situ measurements in the vadose one of field saturated hydraulic conductivity,

sorptivity, and the conductivity-pressure head relationship. **Ground Water Monitoring Review**, Washington, v. 6, n. 1, p. 84-95, 1992.

ROLLOFF, G.; BERTOL, O. J. Método para estimativa da cobertura do solo e da altura do dossel de algumas culturas de verão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n.1, p 319-327, 1998.

ROOSE, E. I. Application of the universal soil loss equation of Wischmeier and i Smith in West Africa. In: GREENLAND, D. J.; LAL, R. **Soil conservation and management in the humid tropics**. Chichester: Jonh Wiley & Sous, 1977. p. 177-187.

RUFINO, R. L.; HENKLAIN, J. C.; BISCAIA, R. C. M. Influência das práticas de manejo e cobertura vegetal do cafeeiro nas perdas de solo. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Campinas, v. 9, n. 3, p. 277-280, set./dez. 1985.

SILVA, J.R.C.; DIAS, S. A erosividade das chuvas em Fortaleza (CE). II - Correlação com o coeficiente de chuva e atualização do fator R no período de 1962 a 2000. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 347-354, 2003.

SILVA, M. L. N.; FREITAS, P. L.; BLANCANEUX, P.; CURI, N. Índices de erosividade das chuvas da região de Goiânia, GO. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 10, p. 977-985, out. 1997a.

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; LIMA, J. M.; FERREIRA, M. M. Avaliação de métodos indiretos de determinação da erodibilidade de Latossolos Brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1207-1220, jun. 2000

SMITH, R. M.; SATAMEY, W. I. How to establish erosion tolerances. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 19, n. 3, p. 110-111, 1964

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 123 p.



WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationships to soil loss. **Transactions of the American Geophysical Union**, Washington, v. 39, n. 2, p. 285-291, 1958.

WISCHMEIER, W. H. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 23, p. 246-249, 1959

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky mountain**. Washington, 47p, 1965.

WISCHMEIER, W. H. Upslope erosion analysis. IN: Shen, h.w. **Environmental impact on Rivers**. Fort Collins, p. 1-26, 1972

WISCHMEIER, W. H.; MANNERING, J. V. Relation of soil properties to its erodibility. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 33, n. 1, p. 131-137, Jan./Feb. 1969.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Transactions of the American Geophysical Union**, Washington, v. 39, p. 285-291, 1958.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: United States Department of Agriculture, 1978. 58 p. (Agriculture Handbook, 537)

ZHANG, K.; LI, S.; PENG, W.; YU, B. Erodibility of agricultural soils on the loess plateau of China. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, p. 157-165, 2004.

## CAPÍTULO 3

### RESUMO

MARTINS, Sérgio Gualberto. **Cultivo mínimo de eucalipto e perdas de solo e água por erosão hídrica na região dos Tabuleiros Costeiros, município de Aracruz, ES. 2005. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.<sup>1</sup>**

O Brasil possui atualmente cerca de 3 milhões de hectares de eucalipto plantados que ocupa lugar estratégico na economia do país, com participação de 2,6% do PIB nacional. No entanto, estudos do comportamento do eucalipto em relação à erosão hídrica são incipientes. Neste contexto, este estudo teve como objetivo avaliar as perdas de solo e água por erosão hídrica em floresta de produção de eucalipto, sob cultivo mínimo, relacionando-as com as observadas em mata natural e solo descoberto, e compará-las com os limites admissíveis para as principais classes de solo nos Tabuleiros Costeiros, na região de Aracruz, ES. O estudo foi realizado em uma microbacia hidrográfica de 286 ha, constituída de 189 ha de plantios de eucalipto e 88 ha de floresta nativa e 8,0 ha de estradas, situada em área experimental da Aracruz Celulose S.A., no município de Aracruz, ES. O experimento foi instalado nas principais classes de solos existentes na região, originados de sedimentos da Formação Barreiras, a saber: Argissolo Amarelo textura média/argilosa (PA1), Plintossolo Háptico (FX) e Argissolo Amarelo moderadamente rochoso (PA8). As perdas de solo para a cultura do eucalipto foram bem abaixo dos limites de tolerância para os solos referentes a cada classe, indicando a adequação do manejo deste sistema no tocante à erosão hídrica. O fato das perdas de solo para o eucalipto ficarem relativamente próximas daquelas da mata nativa indica a sustentabilidade daquele ambiente no contexto da erosão hídrica. Estes resultados sugerem que a cultura do eucalipto oferece eficiente cobertura ao solo, quando manejada de forma adequada.

---

<sup>1</sup> Comitê Orientador: Marx Leandro Naves Silva - UFLA (Orientador); Nilton Curi - UFLA (Co-orientador).

## CHAPTER 3

### ABSTRACT

**MARTINS, Sérgio Gualberto. Minimum cultivation of eucalyptus and soil and water losses by water erosion in the Coastal Plain region, Aracruz county, ES. Lavras: Federal University of Lavras, 2005. (Thesis-Doctorate in Soils and Plant Nutrition).<sup>1</sup>**

Brazil possesses at present about 3 million hectares of planted eucalyptus which occupies a strategic place in the economy of country, with a participation of 2.6% of the national PIB. Nevertheless, studies of the behavior of eucalyptus relative to water erosion are incipient. In this context, this study was intended to evaluate soil and water losses by water erosion in eucalyptus - growing forest, under minimum cultivation, relating them to those observed in a native forest and bare soil, and comparing them with the tolerance limits for the main soil classes in the Coastal Plains, at Aracruz region, ES. The study was undertaken in a 286 ha watershed, including 189 ha of eucalyptus plantings, 88 ha of native forest and 8.0 ha of roads, situated at experimental area of Aracruz Celulose S.A., at Aracruz county, ES. The experiment was established in the main classes of soils existing in the region, originated from sediments of the Barreiras formation, namely: Yellow Argisol medium/clayey texture (PA1), Haplic Plinthosol (FX) and Yellow Argisol moderately rocky (PA1). The soil losses for the eucalyptus were well bellow the tolerance limits for the soils concerning each class, pointing out the adequacy of management of this system as regard water erosion. The fact of the soil losses the eucalyptus stays relatively close to those of the native forest indicates the sustainability of that environment in the context of water erosion. These results suggest that eucalyptus offers an efficient cover to the soil, when managed in an adequate way.

---

<sup>1</sup> Guidance Committee: Marx Leandro Naves Silva - UFLA (Adviser); Nilton Curi - UFLA.

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui atualmente cerca de 3 milhões de hectares de eucalipto plantado que ocupa lugar estratégico na economia do país, com participação de 2,6% do PIB nacional. O monitoramento de fatores relacionados à conservação do solo e da água e a adoção de práticas conservacionistas são fundamentais para garantir a produtividade de forma sustentável. A erosão hídrica é tida como responsável por 80% dos problemas de alteração da qualidade da água em microbacias (Ranzine & Lima, 2002). Em média, cerca de 30% dos sedimentos perdidos por erosão hídrica chegam aos mananciais, podendo causar o comprometimento da qualidade da água e assoreamento (Hernani et al., 2002). No entanto, estudos do comportamento de plantios florestais em relação à erosão hídrica são poucos no Brasil e estão relacionados à morosidade, ao tempo de coleta de dados e ao alto custo.

As perdas de solo e água por erosão hídrica dependem da interação do clima, solo, topografia, cobertura e manejo do solo (Wischmeier & Smith, 1978) e podem ser minimizadas pela adoção de práticas conservacionistas. Em solo cultivado com culturas agrícolas e pastagens, vários autores têm obtido valores de perdas de solo e água em vários sistemas de preparo do solo, manejo, classes de solo e culturas (Dechen et al., 1981; Eltz, 1984; Rufino et al., 1985; Nunes Filho et al., 1990; Margolis et al., 1991; Silva et al., 1992; Bono et al., 1996; Seganfredo et al., 1997; Santos et al., 1998; Cassol et al., 1999; Hernani et al., 1999; Levien & Cogo, 2001; Beutler et al., 2003; Cogo et al., 2003; Mello et al., 2003). De acordo com estes autores, os preparos conservacionistas que utilizam pequena movimentação mecânica do solo e sistemas de manejo que proporcionam eficiente cobertura vegetal são os que apresentam menores perdas de solo e água por erosão hídrica (Zhou et al., 2002).

Os reflorestamentos com eucalipto, como objetivo de produzir madeira para celulose, apresentam ciclo de seis a sete anos. Neste período, o solo fica em repouso com crescente acúmulo de material vegetal, devido a quedas de galhos e folhas, constituindo a serrapilheira. Além disso, há o crescimento do sub-bosque, favorecendo a proteção da superfície do solo. Com exceção do plantio direto, os cultivos agrícolas convencionais podem apresentar maiores perdas de solo. Possivelmente este fato se relaciona com menor cobertura do solo e maior movimentação mecânica do solo, quando comparado com plantios florestais (Martins et al., 2003).

Em estudos realizados para medir o efeito de diferentes sistemas de cobertura do solo no controle de erosão e escoamento superficial de água, em relação a florestas tropicais úmidas, constatou-se que a maior eficiência foi obtida em sistemas com mais de um estrato de cobertura vegetal (Chen, 1993), concordando com estudos de Zhenhong (2004). Na região do Mediterrâneo, Kosmas et al. (1997) determinaram as perdas de solo em plantios de oliveira, trigo, eucalipto e uva, tendo os valores de perdas sido os seguintes: 0,8; 23,8; 17,6 e 14,28 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente. Os autores atribuíram as diferentes perdas de solo às diferentes porcentagens de coberturas proporcionadas ao solo por essas culturas.

Na Tailândia, Niskanen (1998) determinou as perdas de solo em pastagem, eucalipto e mandioca, que foram de 29, 8 e 19 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente. Na China, Zhou et al. (2002) avaliaram as perdas de solo por erosão hídrica em plantios de eucalipto (*E. exserta*), reflorestamento misto com introdução de espécies nativas e solo descoberto em um período de dez anos. As perdas foram maiores no solo descoberto, seguido pelo coberto com eucalipto e reflorestamento misto com introdução de espécies exóticas. De acordo com os autores, o escoamento superficial e as perdas de solo diminuíram com o aumento

da cobertura proporcionada pelo eucalipto, acúmulo da serrapilheira e aumento da vegetação rasteira do primeiro para o décimo ano.

No Brasil, um dos primeiros estudos de perdas de solo em plantios florestais foi desenvolvido por Lima (1996), que determinou perdas de solo e água durante quatro anos em areia quartzosa cultivada com *Eucalyptus grandis*. Segundo o autor, as perdas para o primeiro ano foram de 1,0 a 6,5 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e, para o quarto ano, de 0,01 a 0,14 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, observando-se uma diminuição acentuada de perdas de solo com o tempo de cultivo. Em sistemas florestais nativos, Albuquerque et al. (2001) quantificaram perdas de solo e água em Luvissoleto Hipocrômico órtico vértico, com textura argilosa, após desmatamento da caatinga e as compararam com a caatinga nativa. As perdas de solo e água na parcela desmatada foram de 61,7 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e 224,2 mm, respectivamente. A parcela com caatinga nativa, quando comparada com a parcela descoberta, reduziu a perda de solo em cerca de 98% e a perda de água em torno de 73%, afirmando a importância de se manter o solo coberto.

Estudando as perdas de solo em quatorze sistemas agroflorestais e onze sistemas de cultivo convencional na região da Zona da Mata, MG, Franco et al. (2002) concluíram que elas apresentaram valores de 0,21 e 2,65 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para os sistemas agroflorestais e convencionais, respectivamente. De acordo com os autores, este fato mostra a grande estabilidade dos sistemas agroflorestais em relação à proteção do solo, quando comparados com sistemas convencionais.

De acordo com Franco et al. (2002) e Gonçalves (2002), o controle de erosão hídrica oferecida por espécie arbórea é obtido devido aos efeitos de redução no impacto da gota de chuva no solo, ao aumento de infiltração de água, à manutenção do teor adequado de matéria orgânica e ao efeito agregador nas partículas do solo. Além disso, a vegetação e os resíduos vegetais funcionam como obstáculos ao caminhar de excedentes hídricos, reduzindo a

velocidade da enxurrada e aumentado a infiltração de água no solo. Todos estes fatores concorrem para reduzir o escoamento superficial de água no solo.

Perdas de solo foram avaliadas por Brito et al. (2004) em florestas plantadas de Eucalipto, no município de Guanhães, Vale do Rio Doce, MG, em Latossolo Vermelho, típico durante os primeiros 14 meses de implantação da cultura do eucalipto em vários sistemas de manejo. As perdas de solo foram de 0,011; 0,412; 1,770; 0,063; 0,098 e 0,116 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e as perdas de água foram de 2,24; 9,23; 23,66; 11,46; 17,75; 8,62 mm, correspondendo a 0,14%; 0,58%; 1,48%; 0,72%; 1,11%; 0,54 % da precipitação total, para floresta nativa, pastagem nativa, solo descoberto, eucalipto plantado no sentido do declive do terreno, com queima dos restos culturais, eucalipto plantado no sentido do declive do terreno sem queima dos restos culturais e eucalipto plantado em nível, sem queima de restos culturais, respectivamente. De acordo com os autores, estes valores de perdas de solo estão muito abaixo da tolerância admissível por erosão hídrica estabelecida para este solo na região que é de 11,22 Mg<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Resultados semelhantes foram observados por Pires (2004), no município de Belo Oriente, Vale do Rio Doce, MG, em Latossolo Vermelho-Amarelo. No entanto, estes são dados parciais relativos ao primeiro ano de plantio do eucalipto.

O monitoramento das perdas de solo por erosão hídrica, por comparação com os limites estabelecidos pela tolerância de perdas, é imprescindível para o manejo adequado das atividades agrícolas. A FAO (1967) admite perdas da ordem de 12,5 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para solos profundos, permeáveis e bem drenados; 2 a 4 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para solos rasos ou impermeáveis e, para outros solos, admite perdas intermediárias àqueles limites. A avaliação das perdas de solo e água assume importância fundamental na escolha e adoção de práticas que visem minimizar a degradação do solo.

Neste contexto, este estudo teve como objetivo avaliar as perdas de solo e água por erosão hídrica em floresta de produção de eucalipto, sob cultivo mínimo, relacionando-as com as observadas em mata nativa e solo descoberto, e compará-las com os limites admissíveis para as principais classes de solo nos Tabuleiros Costeiros, na região de Aracruz, ES.



## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma microbacia hidrográfica de 286 ha, constituída de 189 ha de plantios de eucalipto e 88 ha de floresta nativa e 8,0 ha de estradas, situada em área experimental da Aracruz Celulose S.A., no Município de Aracruz, ES (Figura 1).

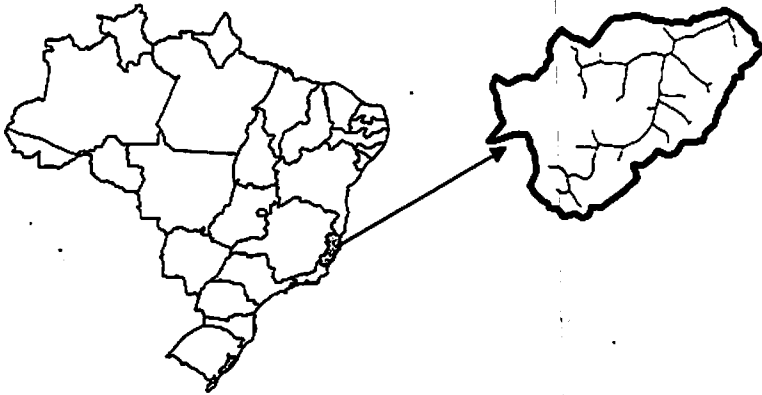


FIGURA 1 Localização da área de estudo e da microbacia piloto, Aracruz, ES.

O clima da região é Aw, segundo a classificação de Köppen (Ometto, 1981), com temperatura de 23°C e precipitação média anual de 1.400 mm ano<sup>-1</sup>. A região onde se insere a unidade de pesquisa está situada entre as coordenadas 19°35' e 20°15' de latitude sul e 40°00' e 40°20' de longitude oeste.

O experimento foi instalado nas principais classes de solos existentes na região, originados de sedimentos da Formação Barreiras, a saber: Argissolo Amarelo textura média/argilosa (PA1), Plintossolo Háptico (FX) e Argissolo Amarelo moderadamente rochoso (PA8).

Os três tratamentos estudados foram: solo descoberto, solo sob cultivo de eucalipto (clones híbridos naturais de *Eucalyptus grandis*), com 7 anos de idade

e solo sob floresta ombrófila densa, segundo Veloso et al. (1991) ou floresta tropical subperenifólia (Embrapa, 2000).

O preparo do solo adotado para a implantação da cultura do eucalipto foi o cultivo mínimo com coveamento manual de 30x30x30 cm. Resíduos da colheita anterior, tais como cepa, folha, galhos e madeira da ponta das árvores permaneceram na área. Foi realizado o controle da mato-competição no pré-plantio utilizando-se o herbicida pós-emergente Round-up, aplicado em área total na dosagem de 3 litros ha<sup>-1</sup>, num total de duas aplicações. No controle da brotação do eucalipto foi utilizado também o Round-up, aplicado na brotação na dosagem de 3 litros ha<sup>-1</sup>.

Foram utilizados dados de perdas de solo e de água ocorridos no período de novembro de 1997 a maio de 2004. A avaliação das perdas de solo foi realizada em parcelas instaladas no campo com dimensões de 12,0 x 24,0 m para o solo cultivado com eucalipto e 4,0 x 12,0 m para o solo sob floresta nativa e solo sem cobertura. As parcelas foram contornadas com chapas galvanizadas com 0,40 m de largura que foram enterradas 0,20 m (Figura 2).

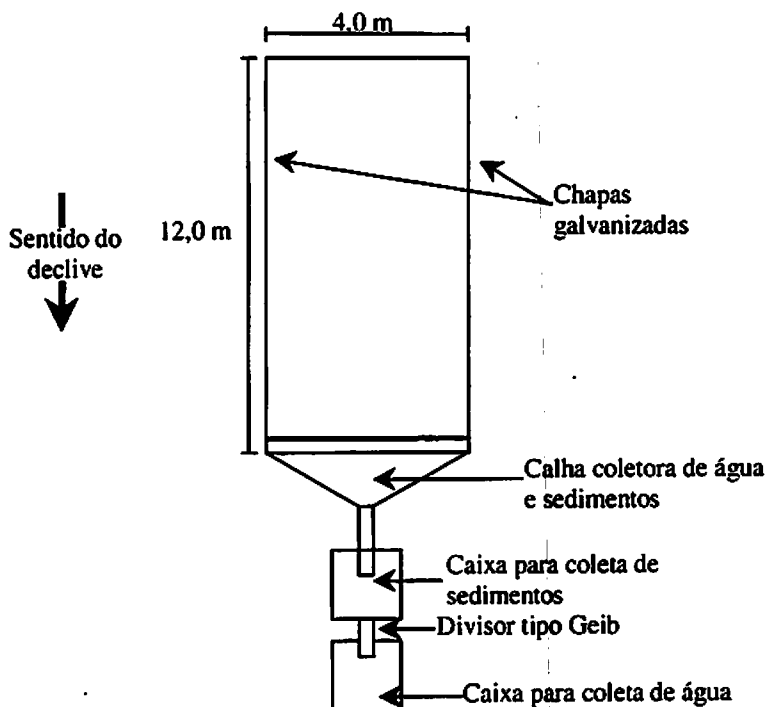


FIGURA 2 Desenho esquemático da parcela de coleta de sedimentos e de água.

O comprimento maior obedeceu ao sentido do declive, sendo escolhidas áreas com o declive máximo característico de cada classe de solo estudada. Na Tabela 1, observa-se a declividade máxima dos solos PA1, FX e PA8, bem como a classificação do relevo. O PA1 e o FX apresentam relevo variando de plano a ondulado, sendo que o PA1 ocorre no topo das elevações, o FX ocorre em locais ligeiramente côncavos distribuídos dentro das áreas de PA1 e o PA8 apresenta relevo forte ondulado, ocorrendo na encosta.

**TABELA 1** Declividade máxima e relevo para os diferentes solos e coberturas estudados.

Solo	Cobertura	Declividade (%)	Relevo <sup>1</sup>
PA1	Eucalipto	1,8	Plano
	Mata nativa	8,2	Ondulado
	Solo descoberto	3,6	Suave ondulado
FX	Eucalipto	1,3	Plano
	Mata nativa	12,4	Ondulado
	Solo descoberto	2,6	Plano
PA8	Eucalipto	28,8	Forte ondulado
	Mata nativa	35,5	Forte ondulado
	Solo descoberto	33,2	Forte ondulado

<sup>1</sup> Segundo Lemos & Santos (1996).

Na parte inferior das parcelas foram colocadas calhas coletoras, com cano plástico de 3 polegadas, para conduzirem a enxurrada até os tanques coletores. O sistema coletor foi constituído de um tanque de sedimentação, com capacidade para 250 L, munido de um sistema divisor do tipo Geib, de 15 janelas e um tanque coletor de água e sedimentos com capacidade para 500 L. A partir do sistema divisor, através de uma canaleta, a água e sedimentos foram conduzidos para o tanque coletor. Assim, após o enchimento do tanque de sedimentação, 1/15 de água da enxurrada foi conduzida para o segundo tanque. Dentro do tanque de sedimentação foi colocado um recipiente, calibrado em relação ao volume, para coleta de sedimentos. As coletas foram realizadas a cada evento de chuva considerada erosiva, segundo metodologia de Cogo (1978a,b).

Para o cálculo da erosividade foram utilizados dados pluviométricos de novembro de 1997 a maio de 2004, obtidos em estações climatológicas automatizada que, para este estudo, geraram dados de 5 em 5 minutos. A partir

das precipitações foram calculadas energias cinéticas totais das chuvas para cada evento. Foram consideradas chuvas individuais aquelas separadas por mais de seis horas. As chuvas menores que 10 mm, com intensidade máxima menor que 24 mm h<sup>-1</sup> em 15 minutos ou energia cinética menor que 3,6 MJ, foram consideradas não erosivas (De Maria, 1994). Para o cálculo da energia cinética, utilizou-se a equação proposta por Wischmeier & Smith (1958):

$$E = 0,119 + 0,0873 \text{Log}I$$

em que E é a energia cinética, em MJ ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> e I é a intensidade da chuva, em mm h<sup>-1</sup>. O índice EI<sub>30</sub> foi obtido a partir da multiplicação da energia cinética total (E) de uma chuva erosiva pela máxima intensidade ocorrida em um período de 30 minutos consecutivos (I<sub>30</sub>), segundo Wischmeier & Smith (1958). No período de estudo, a precipitação variou de 788 a 1.342 mm, dados obtidos em estações climatológicas automatizadas.

As amostras de solo foram coletadas na camada de 0-20, utilizando-se três repetições. A análise granulométrica do solo foi realizada pelo método da pipeta, segundo Day (1965). A densidade do solo foi determinada em amostras com estrutura indeformada, coletadas com amostrador de Uhland (Blake & Hartge, 1986). A permeabilidade do solo foi avaliada no campo por meio da taxa constante de infiltração de água a 15 cm de profundidade, com duas cargas constantes de 3 e 6 cm de coluna d'água, utilizando o permeâmetro de Guelph (Reynolds et al., 1992). O carbono orgânico foi determinado segundo Embrapa (1997).

Para o cálculo do valor de tolerância de perdas de solo foram utilizados dados de perfis de solos representativos da região, apresentados em Embrapa (2000) e complementados com observações e determinações de campo. As tolerâncias de perdas de solo admissíveis foram determinadas pela metodologia proposta por Smith & Stamey (1964), Lombardi Neto & Bertoni (1975) e Galindo & Margolis (1989). Dos resultados determinados pelas três

metodologias foi obtido um valor médio. Para todos os perfis estudados, foi calculada, em metros, a espessura da camada do solo passível de ser removida. Esse valor foi convertido em milímetros e, então, a tolerância foi convertida em  $\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , com base nos valores de densidade do solo. Os métodos levam em consideração a profundidade efetiva do solo, a relação textural entre os horizontes subsuperficiais e superficiais, a permeabilidade e o teor de matéria orgânica.

O potencial de arraste de sedimentos do solo (PAS) foi calculado dividindo-se as perdas de solo, em  $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , pelas perdas de água, em  $\text{mm ano}^{-1}$ .

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As perdas de solo totais anuais, perdas médias, bem como os parâmetros estatísticos, podem ser observadas na Tabela 2.

Os altos valores dos coeficientes de variação observados entre os anos de estudo, dentro de cada cobertura, podem ser atribuídos à irregularidade da distribuição e variabilidade temporal das chuvas durante os anos, já que as perdas de solo são o reflexo, dentre outros fatores, da quantidade de chuvas e de suas características físicas. Beutler et al. (2003) avaliaram as perdas solo e água em diferentes sistemas de preparo e cultivo sob chuva natural. De acordo com estes autores, as variações nas perdas de solo entre os anos de cultivo foram expressivas, em decorrência da variação da erosividade, influenciadas pelas variações climáticas e variação da umidade antecedente às chuvas.

Os valores de erosividade da chuva (Tabela 2) variaram de 4.535 a 16.220 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para os anos em estudo, apresentando valor médio de 7.821,37 mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. De modo geral, para os anos de 1997 a 2000, que correspondem aos primeiros quatro anos de plantio do eucalipto, observa-se que foram mais comuns chuvas de alta erosividade produzirem maiores perdas. Entretanto, foram também observados valores de baixa erosividade produzindo maiores perdas quando comparados com perdas de solo em anos anteriores, como aconteceu com o PA8 na parcela descoberta. Isso pode ser atribuído, provavelmente, à variabilidade do grau de umidade antecedente do solo por ocasião das chuvas, sendo este efeito atenuado nas parcelas com eucalipto e mata nativa pelo efeito da cobertura vegetal.

No período de 1997 a 2000, que corresponde aos primeiros quatro anos de instalação da cultura do eucalipto, as perdas de solo variaram de 0,21 a 3,20 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Tabela 2).

TABELA 2 Valores de perdas de solo, precipitação (Prec.) e erosividade da chuva (R) durante o ciclo da cultura do eucalipto.

Solo	Ano <sup>1</sup>	Perda de solo			Prec.	R
		Eucalipto	Mata	Descoberto		
		----- Mg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> -----		----mm-- --	MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
PAI	1997	0,69	0,07	1,25	1123	7.358
	1998	3,07	0,11	2,56	1173	8.082
	1999	0,93	0,04	2,38	1074	6.635
	2000	0,29	0,08	1,87	1131	4.635
	2001	0,20	0,04	3,97	1342	8.817
	2002	0,03	0,03	0,87	901	6.290
	2003	0,0046	0,0017	0,1382	788	4.535
	2004	0,19	0,0090	2,08	1091	16.220
	Média <sup>1</sup>	0,680	0,047	2,118	1077,87	7.821,37
	DP <sup>2</sup>	1,01	1,0158	0,0367	168,67	3.713,22
CV% <sup>3</sup>	149,24	77,33	61,42	15,64	47,47	
FX	1997	1,77	0,06	1,77	1123	7.358
	1998	2,10	0,07	0,65	1173	8.082
	1999	0,58	0,04	0,95	1074	6.636
	2000	0,21	0,08	0,77	1131	4.634
	2001	0,10	0,05	1,65	1342	8.817
	2002	0,01	0,01	1,21	901	6.290
	2003	0,0010	0,0100	0,1017	788	4.535
	2004	0,0676	0,0176	0,79	1091	1.6220
	Média	0,606	0,042	1,00	1077,87	7.821,37
	DP	0,84	0,027	0,55	168,67	3.713,22
CV%	139,19	65,08	55,51	15,64	47,47	
PA8	1997	3,20	0,15	2,90	1123	7.358
	1998	0,32	0,21	1,57	1173	8.082
	1999	2,38	0,10	19,31	1074	6.635
	2000	2,04	0,08	66,37	1131	4.634
	2001	0,28	0,05	43,14	1342	8.817
	2002	0,04	0,01	18,26	901	6.290
	2003	0,1005	0,0018	17,66	788	4.535
	2004	0,0187	0,0340	35,15	1091	1.6220
	Média	0,981	0,070	26,462	1077,87	7.821,37
	DP	1,236	0,076	21,5424	168,67	3.713,22
CV%	126,01	108,83	81,40	15,64	47,47	

<sup>1</sup>Referentes a novembro de 1997 a maio de 2004; <sup>2</sup>DP= desvio padrão; <sup>3</sup>CV= coeficiente de variação.



Estes valores estão bem abaixo do limite de tolerância de perdas de solo (Tabela 5), o que pode ser explicado pelo rápido crescimento da cultura do eucalipto, fornecendo eficiente cobertura ao solo, em concordância com trabalho de Zhou et al. (2002), realizado na China.

Adiciona-se a este fato, o sistema de preparo do solo adotado, que é o cultivo mínimo, que consiste em revolver o solo o mínimo necessário e manter resíduos vegetais sobre o solo como cobertura morta, evitando, dessa maneira, que o solo fique descoberto nos primeiros anos de plantio.

Para os anos de 2001 a 2004, as perdas de solo foram ainda mais baixas, variando de 0,01 a 0,28 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, que, possivelmente correspondem a uma fase mais madura do ciclo do eucalipto, com as copas praticamente entrelaçadas umas às outras, formando um dossel fechado com alta densidade de folhas. Além disso, o acúmulo de serrapilheira proporciona, possivelmente, alta interceptação e dissipação de energia das gotas de chuva com eficiente proteção ao solo concordando com os estudos de Chen (1993), Franco et al. (2002), Gonçalves et al. (2002), Zhou et al. (2002), e Zhenhong (2004). De acordo com Cogo et al. (2003), a cobertura do solo proporcionada por resíduos culturais deixados na superfície do mesmo tem ação direta e efetiva na redução da erosão hídrica. Isso se relaciona à dissipação de energia cinética das gotas de chuva, a qual diminui a desagregação das partículas do solo e o selamento superficial e aumenta a infiltração de água.

Além da eficiente cobertura vegetal proporcionada ao solo nesta condição de estudo, estes solos, de acordo com Duarte et al. (2000), apresentam alta coesão influenciada pelos altos teores de caulinita e com baixos teores de gibbsita, associados a baixos teores de ferro. Estes aspectos conferem a estes solos alta resistência à erosão hídrica, dificultando os processos erosivos.

Observa-se que, para o ano de 2004, a erosividade da chuva foi de 16.220,0 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> (Tabela 2), classificada como muito alta segundo Foster

(1981), com alto poder erosivo. Este valor de erosividade da chuva é cerca de 144,95% maior quando se considera o valor médio da erosividade da chuva dos primeiros sete anos de estudo. Somando-se os dois últimos anos de perdas de solo e comparando-se com o total de perdas de solo dos dois primeiros anos para o eucalipto, observa-se uma redução nas perdas de solo de 98,0%; 94,8% e 96,6% para o PA1, FX e PA8, respectivamente. Possivelmente, estes resultados estão relacionados a uma maior porcentagem de chuva interceptada nesta fase de maior desenvolvimento da cultura, corroborando com estudos de Zhou et al. (2002).

As perdas de solo entre os anos e coberturas avaliadas apresentaram uma variação de 0,001 a 66,37 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para condição de eucalipto do FX e solo descoberto do PA8, respectivamente (Tabela 2). Considerando os valores médios, as perdas de solo apresentaram uma amplitude de 0,042 a 26,462 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. As menores perdas foram observadas para o sistema sob mata nativa, independente do solo e relevo, o que pode ser explicado por aspectos como a interceptação das gotas de chuvas pelo dossel da mata, que possui estrato vertical muito diversificado. Esse fator resulta em uma maior proteção do solo, existência de uma rica camada de folhas (serapilheira), maiores teores de matéria orgânica, o que condiciona agregados de maior estabilidade e, por consequência, melhor estruturação e maior permeabilidade (Tabela 3). Resultados semelhantes foram constatados por Albuquerque et al. (2001) e Beutler et al. (2003).

TABELA 3 Atributos físicos e químicos dos solos, no horizonte superficial, de acordo com os sistemas de uso e manejo estudados.

Solo	Tratamento	Ds <sup>1</sup>	Permeabilidade	MO <sup>2</sup>
		g cm <sup>-3</sup>	mmh <sup>-1</sup>	-----g kg <sup>-1</sup>
PA1	Eucalipto	1,52	4,31	20,0
	Mata	1,52	15,83	41,0
	Descoberto	1,52	4,11	20,0
FX	Eucalipto	1,47	6,57	22,0
	Mata	1,24	35,35	31,0
	Descoberto	1,47	10,89	16,0
PA8	Eucalipto	1,52	19,53	22,0
	Mata	1,27	53,03	32,5
	Descoberto	1,52	17,27	18,0

<sup>1</sup>Ds: Densidade do solo; <sup>2</sup>MO: matéria orgânica.

O PA8, em média, apresentou maiores perdas de solo (Tabela 2), principalmente por estar em uma posição na paisagem de relevo mais acidentado, com amplitude de declividade variando de 28,8% a 35,5% (Tabela 1). Isso favoreceu uma maior velocidade do escoamento superficial e, conseqüentemente, maior arraste das partículas do solo, concordando com trabalho desenvolvido por Cogo et al. (2003). Além do fator declividade, o PA8 apresenta textura mais arenosa na camada superficial quando comparado com PA1 e FX (Tabela 4), o que confere menor coesão entre partículas e favorece os processos erosivos. Por outro lado, os solos PA1 e FX possuem declividades menores, com amplitudes de 1,8% a 8,2% e 1,3% a 12,4%, respectivamente (Tabela 1). Os valores de perdas de solo foram bem próximos no PA1 e FX, sendo as maiores perdas observadas no PA1, as quais possivelmente estão relacionadas à sua posição na paisagem (topo das elevações), estando relativamente mais sujeito à erosão em comparação ao FX que ocorre em locais ligeiramente côncavos distribuídos dentro das áreas de PA1.

Nos primeiros anos de implantação do experimento (1997 e 1998), a condição de solo descoberto apresentou, ligeiramente, menores perdas de solo do

que a condição de solo com eucalipto (Tabela 2). Isso ocorreu, possivelmente pela formação substancial de crostas (ciumento superficial) dentro da parcela do solo descoberto, que, apesar de indicar uma situação de degradação, dificultou o arraste de partículas do solo. A partir do ano de 1999, a tendência se inverteu devido ao efeito de cobertura proporcionado pelo eucalipto e se manteve até o final do ciclo.

Poucas são as informações disponíveis sobre as perdas de solo e água por erosão hídrica em plantações florestais no Brasil e no exterior. Este trabalho mostra que, para as condições de plantio e de solo aqui estudadas, as perdas variaram de 0,01 a 3,20 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Tabela 2), valores estes inferiores aos observados por Lima (1996) e semelhantes aos de Albuquerque et al. (2001) e Zhou et al. (2004). Essas perdas são bem menores do que as observadas em culturas agrícolas e pastagens, conforme estudos de Dechen et al. (1981), Eltz (1984), Rufino et al. (1985), Bertol et al. (1987), Nunes Filho et al. (1990), Margolis et al. (1991), Silva et al. (1992), Bono et al. (1996), Seganfredo et al. (1997), Hernani et al. (1997, 1999), Cassol et al. (1999), Levien & Cogo (2001), Beuttler et al. (2003), Cogo et al. (2003) e Mello et al. (2003), exceto quando comparadas com as perdas de solo em algumas culturas agrícolas sob plantio direto. As menores perdas de solo para a cultura do eucalipto, quando comparadas com perdas de solo em algumas culturas agrícolas no sistema convencional, pode ser atribuída à proteção que esta cultura proporciona ao solo, interceptando as gotas de chuva pela copa das árvores, além da presença de serapilheira.

As perdas de solo na plantação de eucalipto diminuíram com o avanço da idade, o que foi observado a partir do terceiro ano (Tabela 2), corroborando estudos de Lima (1996), Vital et al. (1999) e Zhou et al. (2002). As perdas de solo nas áreas com eucalipto variaram de 0,01 a 3,20 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Tabela 2) e foram muito aquém dos limites de tolerância calculados para os solos nesta

região, que são 10, 13 e 11 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Tabela 5) para o PA1, FX e PA8, respectivamente.

As perdas médias de solo para o eucalipto no PA1, FX e PA8 foram de 0,68; 0,60 e 0,98 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente. Estes valores de perdas de solo correspondem a 6,8%; 6,0% e 9,8% em relação às tolerâncias de perdas de solo para o PA1, FX e PA8, indicando a adequação do manejo deste sistema de produção em relação à erosão hídrica. Esse resultado concorda com estudos de Cardoso (2003), que, por meio da metodologia de mudança na superfície do solo, determinou as perdas de solo nesta mesma área de estudo.

TABELA 4 Atributos físicos, morfológicos e químicos dos solos estudados.

Prof. --cm--	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Ds <sup>1</sup> g cm <sup>-3</sup>	Permeabilidade		MO <sup>2</sup> g kg <sup>-1</sup>
	g kg <sup>-1</sup>					Valor mm h <sup>-1</sup>	Classe	
<b>PA1-Argissolo Amarelo textura média/argilosa</b>								
0-15	600	140	50	210	1,52	10,7	Lenta	13,9
15-35	430	160	50	360	1,75	-	-	7,9
35-72	410	130	60	400	1,71	-	-	5,5
72-100	350	120	40	490	1,64	-	-	4,8
<b>FX - Plintossolo Háplico</b>								
0-20	410	170	110	310	1,24	17,6	Lenta	31,1
20-35	450	180	50	320	1,46	-	-	20,3
35-45	350	170	50	430	1,46	-	-	9,8
45-70	300	130	40	530	1,38	-	-	5,3
70-100	270	110	40	580	1,40	-	-	5,0
<b>PA8 - Argissolo Amarelo moderadamente rochoso</b>								
0-12	610	150	80	160	1,27	22,3	Len. a mod	32,5
12-22	410	160	100	330	1,36	-	-	23,6
22-44	280	170	100	450	1,39	-	-	13,6
44-66	250	140	70	540	1,47	-	-	8,2
66-97	200	80	90	630	1,32	-	-	6,2
97-100	350	70	60	520	1,44	-	-	3,4

<sup>1</sup>Ds: densidade do solo; <sup>2</sup>MO: matéria orgânica; len: lenta; mod: moderada.

As perdas de solo e água por erosão hídrica podem comprometer a produtividade das culturas (Beutler, 2003). Na Figura 3, observam-se as perdas médias de solo para PA1, FX e PA8 bem como a produtividade para a cultura do eucalipto expressa em volume por hectare. Observa-se que a produtividade no PA8 para o eucalipto é inferior aos outros dois solos, possivelmente pelo PA8 apresentar maiores perdas médias de solo. A diferença de produtividade do PA8 em relação ao PA1 e FX é menor cerca de 7,83 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, equivalendo a 21,76%.

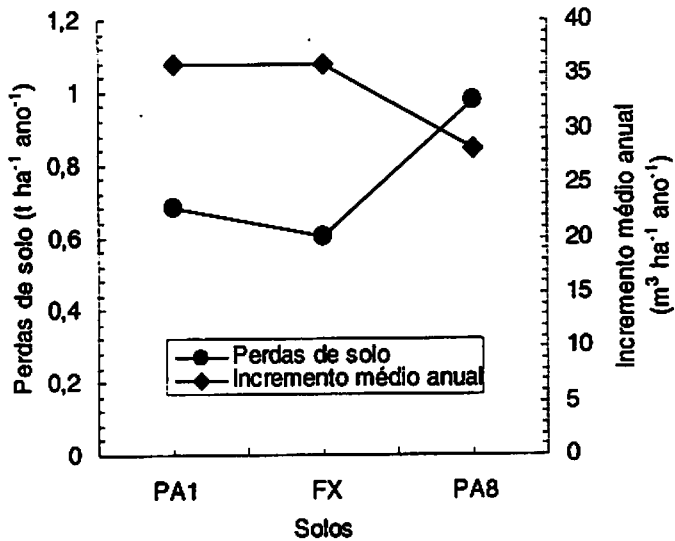


FIGURA 3 Perdas de solo e produtividade expressa através do Incremento médio anual.

Na Tabela 5, observam-se a perda de solo estimada pela equação universal de perdas de solo EUPS, os valores obtidos no campo e a tolerância de perdas de solo. Os valores de perdas de solo estimados apresentaram correlação na ordem de  $r = 0,864$  com os valores determinados no campo, na parcela padrão.

TABELA 5 Valores anuais de perda de solo estimados pela Equação Universal de Perdas de Solo EUPS, valores de perdas de solo medidos nas parcelas no campo e tolerância de perdas de solo.

Solo	Tratamentos	Perdas de solo		Tolerância de perdas
		estimadas <sup>1</sup>	observadas	
		----- Mg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> -----		
PA1	Descoberto	12,756	2,118	-
	Mata	0,005	0,047	10
	Eucalipto	0,024	0,680	-
FX	Descoberto	1,981	1,000	-
	Mata	0,002	0,042	13
	Eucalipto	0,004	0,606	-
PA8	Descoberto	20,385	26,462	-
	Mata	0,003	0,070	11
	Eucalipto	0,056	0,981	-

<sup>1</sup> Valores anuais de perda de solo estimada pela Equação Universal de Perdas de Solo EUPS, considerando os fatores erodibilidade, erosividade, fator topográfico, cobertura vegetal e práticas conservacionistas do eucalipto e mata nativa determinados no capítulo 2.

A precipitação média no período deste estudo (1997 a 2004) foi de 1.077,1 mm. Os altos coeficientes de variação de perdas de água para as diferentes situações de estudo, possivelmente sejam em função da variabilidade temporal do total precipitado, distribuição de chuva, porcentagem de cobertura diferenciada nos estágios de crescimento, no caso da cultura do eucalipto e umidades antecedentes a cada chuva (Tabela 6).

As perdas médias de água para as diferentes situações (Tabela 6) apresentaram variação de 5,63 a 597,35 mm para mata e solo descoberto, correspondendo a 0,48% e 52,82% da precipitação total anual, respectivamente. As perdas de água para o eucalipto variaram de 7,50 a 98,40 mm, correspondentes aos solos PA1 e PA8, respectivamente, o que representa uma perda de água 0,95 e 8,70% em relação ao total precipitado. Considerando os valores médios de perdas de água para o período de estudo, com exceção do PA8, as perdas de água no eucalipto foram bem próximas às perdas de água na



mata nativa, sugerindo comportamento de cobertura vegetal semelhantes. O maior valor de perda de água determinado no PA8 (Tabela 6), possivelmente devido à grande declividade deste solo, reforça que em estudos de perdas de água por erosão hídrica a declividade é um parâmetro importante a ser observado, além da cobertura vegetal (Tabela 1). A seqüência de perdas de água estabelecidas nos diferentes solos estudados foi: PA8>PA1>FX.

As parcelas descobertas perderam em média 2,7; 1,7 e 6,2 vezes mais água do que as parcelas com eucalipto, nos solos PA1, FX e PA8, respectivamente, possivelmente devido ao encrostamento ocorrido naquelas parcelas, corroborando estudos de Beutler (2003). A mata foi a cobertura que proporcionou as menores perdas de água, para todos os solos, em consonância com sua complexidade estrutural, concordando com estudos de Brito et al. (2004) e Pires (2004).

TABELA 6 Valores médios de perdas de água para eucalipto, mata nativa e solo descoberto nas condições de estudo, para o ciclo do eucalipto.

Solo	Ano	Eucalipto		Mata		Descoberto		Precipitação
		mm	%	mm	%	mm	%	mm
PAI	1997	21,84	1,94	7,15	0,64	10,14	0,90	1.123,0
	1998	47,79	4,07	5,63	0,48	38,51	3,28	1.173,0
	1999	22,11	2,06	16,14	1,50	155,98	14,52	1.074,0
	2000	94,33	8,34	52,60	4,65	205,34	18,16	1.131,0
	2001	44,99	3,35	60,90	4,54	192,20	14,32	1.342,0
	2002	22,03	2,45	31,59	3,51	53,60	5,95	901,0
	2003	7,50	0,95	19,50	2,47	75,30	9,56	788,0
	2004	51,60	4,73	26,68	2,45	110,10	10,09	1.091,0
	Média <sup>1</sup>	39,02	3,49	27,52	2,53	105,53	9,64	1.077,87
	DP <sup>2</sup>	27,23	2,31	20,17	1,61	72,63	5,93	168,67
CV% <sup>3</sup>	69,79	66,28	73,29	63,98	68,83	61,55	15,64	
FX	1997	9,59	0,85	9,09	0,81	9,43	0,84	1.123,0
	1998	47,22	4,03	8,17	0,70	27,29	2,33	1.173,0
	1999	27,52	2,56	10,55	0,98	31,92	2,97	1.074,0
	2000	37,14	3,28	52,80	4,67	51,29	4,53	1.131,0
	2001	18,69	1,39	42,10	3,14	124,20	9,25	1.342,0
	2002	19,62	2,18	26,75	2,97	33,32	3,70	901,0
	2003	8,20	1,04	19,40	2,47	18,50	2,35	788,0
	2004	32,10	3,04	24,10	2,21	41,40	3,79	1.091,0
	Média	25,14	2,30	24,13	2,24	42,17	3,72	1.077,87
	DP	13,64	1,13	16,20	1,37	35,55	2,50	168,67
CV%	54,25	49,57	67,15	61,44	84,31	67,36	15,64	
PA8	1997	23,35	2,08	6,68	0,59	58,91	5,25	1.123,0
	1998	46,27	3,94	5,76	0,49	62,88	5,36	1.173,0
	1999	25,13	2,34	62,09	5,78	71,63	6,67	1.074,0
	2000	98,40	8,70	31,00	2,74	597,35	52,82	1.131,0
	2001	23,50	1,75	31,00	2,31	563,58	42,61	1.342,0
	2002	33,05	3,67	32,96	3,66	360,00	39,96	901,0
	2003	50,20	6,37	19,20	2,44	154,40	19,59	788,0
	2004	62,90	5,77	29,00	2,66	369,20	33,84	1.091,0
	Média	45,35	4,33	27,21	2,58	279,74	25,68	1.077,87
	DP	25,82	2,44	17,84	1,68	223,83	18,91	168,67
CV%	56,94	56,32	65,55	65,15	80,01	73,60	15,64	

<sup>1</sup>Referentes a novembro de 1997 a maio de 2004; <sup>2</sup>DP= desvio padrão; <sup>3</sup>CV= coeficiente de variação.

Na Figura 4, observam-se os valores do potencial de arraste de sedimentos (PAS) que correspondem às perdas de solo por mm de água da

enxurrada. Os valores encontrados foram 4, 19 e 34 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> para o solo PA1; 3, 33 e 41 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> para o solo FX e 8, 33 e 101 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> para o PA8, para mata, eucalipto e solo descoberto, respectivamente. Estudos semelhantes foram desenvolvidos por Zhou et al. (2002) que encontraram valores inferiores, na ordem de 0,3; 9,1 e 43,7 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, para reflorestamento misto, eucalipto e solo descoberto, respectivamente.

Em todos os solos, a condição de solo descoberto apresentou maiores valores de PAS, o que ficou bem evidenciado no PA8, possivelmente por apresentar maior declividade em relação ao PA1 e FX (Tabela 1). O eucalipto apresentou valores de PAS intermediários em relação à mata e solo descoberto. Os baixos valores de PAS apresentados pela mata em todos os solos estudados são atribuídos principalmente à interceptação das gotas de chuva pela copa das árvores e pela barreira física representada pela serapilheira. A presença de sub-bosque também dificultou o escoamento superficial e a quebra dos agregados e arraste das partículas do solo.

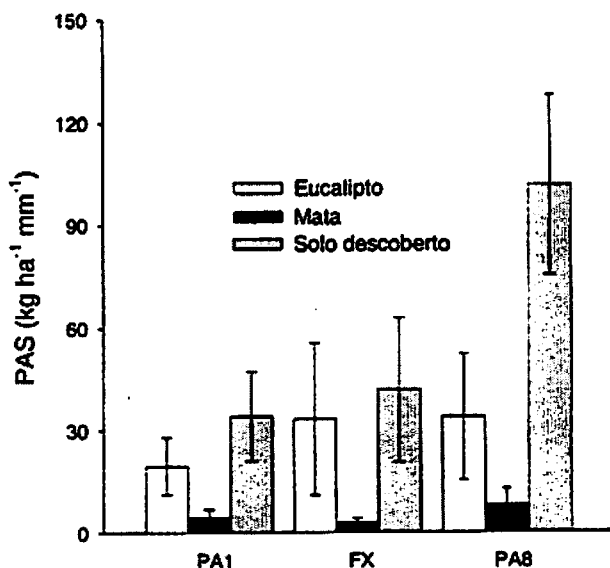


FIGURA 4 Potencial de arraste de sedimentos (PAS) para os diferentes solos e coberturas estudadas.

## **4 CONCLUSÕES**

- 1. As perdas de solo para a cultura do eucalipto foram bem abaixo dos limites de tolerância admissíveis para os solos referentes a cada classe, indicando a adequação do manejo deste sistema de exploração em relação à erosão hídrica.**
- 2. O fato das perdas de solo para o eucalipto ficarem relativamente próximas daquelas da mata nativa indica a sustentabilidade daquele ambiente no contexto da erosão hídrica.**
- 3. Estes resultados sugerem que a cultura do eucalipto oferece eficiente cobertura ao solo, quando manejado no sistema de cultivo mínimo.**

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, A. W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V. S. Efeito do desmatamento da caatinga sobre as perdas de solo e água de um Luvissole em Sumé (PB). *Revista Brasileira de Ciência Solo*, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 121-128, jan./mar. 2001.

BERTOL, I.; COGO, N. L.; LEVIEN, R. Relações da erosão hídrica com métodos de preparo do solo, na ausência e na presença de cobertura por resíduo cultural de trigo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 11, n. 2, p. 187-192, maio/ago. 1987.

BEUTLER, J. F.; BERTOL, I.; VEIGA, M.; WILDNER, L. P. Perdas de solo e água num Latossolo Vermelho Aluminoférrico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo sob chuva natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 509-517, maio/jun. 2003.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). *Methods of soil analysis*. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. v. 1, p. 363-375.

BONO, J. A. M.; CURTI, N.; FERREIRA, M. M.; EVANGELISTA, A. R.; CARVALHO, M. M.; SILVA, M. L. N. Cobertura vegetal e perdas de solo por erosão em diversos sistemas de melhoramento de pastagens nativas. *Pasturas Tropicais*, Cali, v. 18, n. 1, p. 2-8, ene./mar. 1996.

BRITO, L. F. *Erosão hídrica de Latossolo Vermelho Distrófico Típico em área de pós-plantio de eucalipto na Região de Guanhães (MG)*. 2004. 78 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

CARDOSO, D. P. *Avaliação da erosão pela mudança na superfície do solo em sistemas florestais*. 2003. 106 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

CASSOL, E. A.; LEVIEN, R.; LIER van, Q. J.; BADELUCCHI, M. P. Infiltração de água e perdas de água e solo por erosão influenciadas por diferentes métodos de melhoramento da pastagem nativa Gaúcha. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 923-931, set./dez. 1999.

**CHEN, C. P. Pastures as the secondary component in tree-pature systems. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 17., 1993, Rockhampton. Proceedings... Rockhampton, 1993. v. 3. p. 2037-2043.**

**COGO, N. P. Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas por erosão em condições de chuva natural: I - Sugestões gerais, medição do volume, amostragem e quantificação de solo e água da enxurrada (1ª Aproximação). In: ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., 1978, Passo Fundo. Anais... Passo Fundo: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1978a. p. 75-97.**

**COGO, N. P. Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas por erosão em condições de chuva natural: II - Alguns conceitos básicos e modelos de uma ficha para registro das características da chuva e perdas de solo e água (1ª Aproximação). In: ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., 1978, Passo Fundo. Anais... Passo Fundo, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1978b. p. 99-107.**

**COGO, N. P.; LEVIENS, R.; SCHWARZ. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 743-753, jul./ago. 2003.**

**DAY, P. R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C. A. (Ed). Methods of Soil Analysis. Madison: American Society of Agronomy, 1965. v. 1, p. 545-566.**

**DE MARIA, I. C. Cálculo da erosividade da chuva. In: Manual de programas de processamento de dados de campo e de laboratório para fins de experimentação em conservação do solo. Campinas: IAC-SCS, 1994. n. p.**

**DECHEN, S. C. F.; LOMBARDI NETO, F.; CASTRO, O. M. Gramíneas e leguminosas e seus restos culturais no controle da erosão em Latossolo Roxo. Revista Brasileira de Ciência Solo, campinas, v. 5, n. 2, p. 133-137, maio/ago. 1981.**

**DUARTE, M. N.; CURTI, N.; PÉREZ, D. V.; KÄMPF, N.; CLAESSEN, M. E. C. Mineralogia, Química e Micromorfologia de Solos de uma Microbacia nos Tabuleiros Costeiros do Espírito Santo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1237-1250, jun. 2000.**

ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A.; SCOPEL, I.; GUERRA, M. Perdas de solo e água por erosão em diferentes sistemas de manejo e coberturas vegetais em solo Laterítico Bruno-Avermelhado Distrófico (São Jerônimo) sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, n. 1, p. 117-125, jan./abr. 1984.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Levantamento generalizado e semidetalhado de solos da Aracruz Celulose S. A. no Estado do Espírito Santo e no extremo sul do estado da Bahia e sua aplicação aos plantios de eucalipto**. Rio de Janeiro, 2000. 93 p.

FRANCO, F. S.; COUTO, L.; CARVALHO, A. F.; JUCKSCH, I.; FILHO, E. I. F.; SILVA, E.; NETO, J. A. M. Quantificação de erosão em sistemas agrícolas agroflorestais e convencionais na Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Arvore**, Viçosa, v. 26, n. 6, p. 751-760, nov./dez. 2002.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **La erosión del suelo por el agua: algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo**. Roma: FAO, 1967. 207 p.

FOSTER, G. R.; MCCOOL, D. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. **Journal Soil Water Conservation**, Ankeny, v. 36, n. 6, p. 355-359, Nov./Dec. 1981.

GALINDO, I. C. L.; MARGOLIS, E. Tolerância de perdas por erosão para solos do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, n. 1, p. 95-100, jan./abr. 1989.

GONÇALVES, J. L. M. Conservação do solo. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. (Ed). **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. p. 47-130.

HERNANI, L. C.; SALTON, J. C.; FABRICIO, A. C.; DEDECEK, R.; ALVES JUNIOR, M. Perdas por erosão e rendimentos de soja e de trigo em diferentes sistemas de preparo de um Latossolo Roxo de Dourados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 4, p. 667-676, out./dez. 1997.

HERNANI, L. C.; KURIHARA, C. H.; SILVA, W. M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 145-154, jan./mar. 1999.

HERNANI, L. C.; FREITAS, P. L.; PRUSKI, F. F.; DE MARIA, I. C. A erosão e seu impacto. In: MANZATTO, C. V.; JUNIOR, E. F.; PERES, J. R. R. (Ed.). **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 174 p.

KOSMAS, C.; DANALATOS, N.; CAMMERAAT, L. H.; CHABART, M.; DIAMANTOPOULOS, J.; FARAND, R.; GUTIERREZ, L.; JACOB, A.; MARQUES, H.; FERNANDEZ, J. M.; MIZARA, A.; MOUSTAKAS, N.; NICOLAU, J. M.; OLIVEROS, C.; PINHA, G.; PUDDU, R.; PUIGDEFABREGAS, J.; ROXO, M.; SIMÃO, A.; STAMOU, G.; TOMASI, N.; USAI, D.; VACCA, A. The effect of land use on runoff and soil erosion rates under Mediterranean conditions. **Catena**, Amsterdam, v. 29, n. 1, p. 45-59, Mar. 1997.

PIRES, L. S. **Sistema de manejo de eucalipto e erosão hídrica em Latossolo Vermelho-Amarelo muito argiloso na região de Belo Oriente (MG)**. 2004. 84 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

LE MOS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solos no campo**. 2. ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 83 p.

LIMA, W. P. **Impacto ambiental do eucalipto**. 2. ed. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1996. 301 p.

LEVIEN, R.; COGO, N. P. Erosão na cultura do milho em sucessão à aveia preta e pousio descoberto, em preparo convencional e plantio direto, com tração animal e tratorizada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 683-692, jul./set. 2001.

LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. **Tolerância de perdas de terra para solos do estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1975. 12 p. (Boletim Técnico, 28).

MARGOLIS, E.; GALINDO, I. C. L.; MELLO NETTO, A. V. Comportamento de sistemas de cultivo da mandioca em relação à produção e às perdas por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 1, p. 357-362, jan./abr. 1991.



MELLO, E. L.; BERTOL, I.; ZAPARROLI, A. L. V.; CARRAFA, M. R. Perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico submetido à chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 901-909, set./out. 2003.

MARTINS, S. G.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; FONSECA, S.; MARQUES, J. J. G. S. M. Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na Região de Aracruz (ES). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 395-403, 2003.

NUNES FILHO, J.; SOUSA, A. R.; MAFRA, R. C.; SILVA, A. B. Práticas conservacionistas e as perdas por erosão na cultura do milho isolado e consorciado no Sertão do Pajeú (PE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 1, p. 69-72, jan./abr. 1990.

NISKANEN, A. Value of external environmental impacts of reforestation in the Thailand. **Ecological Economics**, Amsterdam, n. 26, p. 287-297, 1998.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Ceres, 1981. 425 p.

PIRES, L. S. **Sistemas DE manejo de eucalipto e erosão hídrica em Latossolo Vermelho Amarelo, muito argiloso na região de Belo Oriente**. 2004. 84 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

RANZINE, M.; LIMA, W. P. Comportamento hidrológico, balanço de nutrientes e prdas de solo em duas microbacias reflorestadas com *Eucalyptus*, no Vale do Paraíba, SP. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 61, p. 144-159, jun. 2002.

REYNOLDS, W. D.; ELRICK, D. E. A method for simultaneous in situ measurements in the vadose one of field saturated hydraulic conductivity, sorptivity, and the conductivity-pressure head relationship. **Ground Water Monitoring Review**, Washington, v. 6, n. 1, p. 84-95, 1992.

RUFINO, R. L.; HENKLAIN, J. C.; BISCAIA, R. C. M. Influência das práticas de manejo e cobertura vegetal do cafeeiro nas perdas de solo. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Campinas, v. 9, n. 3, p. 277-280, set./dez. 1985.

SANTOS, D.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; EVANGELISTA, A. R.; CRUZ FILHO, A. B.; TEIXEIRA, W. G. Perdas de solo e produtividade de pastagens nativas e melhoradas sob diferentes práticas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 2, p. 183-189, fev. 1998.

SEGANFREDO, M. L.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de culturas em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 287-291, abr./jun. 1997.

SILVA, M. L. N.; BAHIA, V. G.; BARROSO, D. G. Perdas de solo em sistemas de preparo convencional e plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 16, n. 176, p. 44-50, 1992.

SMITH, R. M.; STAMEY, W. L. How to establish erosion tolerances. **Journal of Soil Water Conservation**, Ankeny, v. 19, p. 110-111, 1964.

VITAL, A. R. T.; LIMA, W. P.; CAMARGO, F. R. A. Efeito do corte raso de plantação de Eucalyptus sobre o balanço hídrico, a quantidade da água e as perdas de solo e de nutrientes em uma microbacia no Vale do Paraíba, SP. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 55, p. 5-16, jun. 1999.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 123 p.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationships to soil loss. **Transaction of the American Geophic Union**, Washington, v. 39, p. 285-291, 1958.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: USDA, 1978. 58 p. (Agricultural Handbook, 537)

ZHENHONG, W. Relationship between plant species diversity soil erosion on different secondary succession phases of a semi-humid evergreen broad-leaved Forest. **Internacional Soil Conservation Conference**, Brisbane, n. 13, 2004.

ZHOU, G. Y.; MORRIS, J. D.; YAN, H. H.; YU, Z. Y.; PENG, S. L. Hidrologiacl impacts of reforestation with eucalypts and indigenous species: a case study in souther China. **Forest Ecological Management**, Amsterdam, v. 167, n. 1/3, p. 209-222, Aug. 2002.

## CAPÍTULO 4

### RESUMO

**MARTINS, Sérgio Gualberto. Perdas de nutrientes e carbono orgânico por erosão hídrica em floresta plantada de eucalipto na região dos Tabuleiros Costeiros, Aracruz, ES. 2005. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.<sup>1</sup>**

Perdas de nutrientes e carbono orgânico podem comprometer a sustentabilidade de florestas plantadas devido à diminuição da fertilidade do solo, ao aumento do custo de adubação e à poluição de águas superficiais. A concentração de determinado elemento na enxurrada varia principalmente com sua concentração no solo, que é influenciada pelo uso, adubações, manejo e classe de solo. Dessa forma, objetivou-se com o presente estudo quantificar a perda de nutrientes e carbono orgânico no sedimento e na água de enxurrada, resultantes da erosão hídrica, em plantios comerciais de eucalipto na região dos Tabuleiros Costeiros, no município Aracruz, ES. O estudo foi realizado em uma microbacia hidrográfica de 286 ha, situada em área experimental da Aracruz Celulose S.A. O experimento foi instalado nas principais classes de solos existentes na região, originados de sedimentos da Formação Barreiras, a saber: Argissolo Amarelo textura média/argilosa (PA1), Plintossolo Háplico (FX) e Argissolo Amarelo moderadamente rochoso (PA8). As três coberturas estudadas foram: solo descoberto, solo sob cultivo de eucalipto e solo sob mata nativa. Para quantificar as perdas de nutrientes e carbono orgânico, amostras de água da enxurrada e do sedimento foram coletadas nas parcelas. Diante dos resultados pôde-se concluir que os teores de  $Ca^{+2}$  e  $Mg^{+2}$  foram maiores na enxurrada do que no sedimento, enquanto que os teores de  $P$  e  $K^+$  foram maiores no sedimento. O manejo adotado atualmente é adequado, não havendo perdas expressivas de nutrientes para o ciclo do eucalipto. Considerando que as perdas de solo são muito baixas para os sistemas estudados, estando muito abaixo dos limites de tolerância, pôde-se interpretar que as perdas de nutrientes e carbono orgânico não estão comprometendo a sustentabilidade das florestas de eucalipto, reforçando apenas a necessidade de manutenção das práticas conservacionistas atualmente em uso.

---

<sup>1</sup> Comitê Orientador: Marx Leandro Naves Silva - UFLA (Orientador); Nilton Curi - UFLA (Co-orientador).

## CHAPTER 4

### ABSTRACT

MARTINS, Sérgio Gualberto. **Nutrient and organic carbon losses by water erosion in a planted eucalyptus forest in the Coastal Plain region, Aracruz, ES.** Lavras: Federal University of Lavras, 2005. (Thesis-Doctorate in Soils and Plant Nutrition).<sup>1</sup>

Losses of nutrients and organic carbon may harm the sustainability of planted forests due to the decrease of soil fertility, increase of the cost of fertilization and surface water pollution. The concentration of a given element in the runoff varies mainly with its concentration in soil, which is influenced by use, fertilizations, management and soil class. In this way, the present work aimed to quantify the loss of nutrients and organic carbon in the sediment and in the runoff water, resulting from water erosion, in commercial plantings of eucalyptus in the Coastal Plain region, at Aracruz country, ES. The study was accomplished in a 286 ha watershed, situated at experimental area of Aracruz Celulose S.A. The experiment was established in the main classes of soils existing in the region, originated from sediments of the Barreiras Formation, namely: Yellow Argisol medium/clayey texture (PA1), Haplic Plinthosol (FX) and Yellow Argisol moderately rocky (PA8). The three covers studied were: bare soil, soil under eucalyptus, and soil under native forest. To quantify the losses of nutrients and organic carbon, samples of runoff water and sediment were collected in the plots. From the results, the contents of  $\text{Ca}^{+2}$  and  $\text{Mg}^{+2}$  were higher in the runoff than in the sediment, while the contents of P and  $\text{K}^{+}$  were higher in the sediment. The management system adopted at present is adequate, non-occurring substantial losses of nutrients for the eucalyptus cycle. Taking into account that the soil losses are too low for the investigated systems, being very below the tolerance limits, one can interpret that the nutrient and organic carbon losses are not harming the sustainability of the eucalyptus forests, reinforcing only the need of maintenance of the conservation practices in use at present.

---

<sup>1</sup> Guidance Committee: Marx Leandro Naves Silva - UFLA (Adviser); Nilton Curi - UFLA.

## PRODUÇÃO

As perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão hídrica podem causar aumento no consumo de insumos e impactos ao meio ambiente, além do comprometimento da produtividade das culturas. A avaliação da quantidade de nutrientes perdida por erosão em diferentes sistemas de manejos e cobertura vegetal é de fundamental importância no planejamento e na adoção de práticas conservacionistas que proporcionem, de uma forma equilibrada, o uso e a sustentabilidade dos solos florestais (Morrison, 1998; Ramakrishm & Davidson, 1998). Em sistemas conservacionistas, como por exemplo, o cultivo mínimo da cultura do eucalipto, a cobertura superficial proporcionada ao solo é bem mais eficiente do que em cultivos convencionais. Dessa forma, as perdas de solo e água neste tipo de manejo são reduzidas, influenciando diretamente a diminuição das perdas de nutrientes por erosão hídrica (Gonçalves et al., 2002).

Existem várias formas de expressar as perdas de nutrientes por erosão hídrica. Elas podem ser expressas tanto em concentração do elemento na enxurrada e no sedimento como em quantidade perdida por área. A concentração de determinado elemento na enxurrada varia principalmente com sua concentração no solo, que é influenciada pelas fertilizações, manejo e tipo de solo. A quantidade total transportada, no entanto, depende tanto da concentração do elemento no material erodido quanto do volume total desse material perdido (Seganfredo et al., 1997; Schick et al., 1999).

Em geral, as perdas de matéria orgânica por erosão hídrica são elevadas e podem constituir importante fator de degradação do solo (Schick et al., 1999). Segundo Seganfredo et al. (1997), o material erosionado é mais rico em fósforo, cálcio, magnésio potássio e matéria orgânica do que o solo original. Isto se deve ao material transportado, o qual é mais rico em silte e argila do que o solo de onde se originou o sedimento, uma vez que essas partículas são mais facilmente

transportadas e contêm maiores quantidades de nutrientes adsorvidas (Resk et al., 1980; Freitas & Castro, 1983; Hernani et al., 1987; Seganfredo et al., 1997; Bertol et al., 2004). Estima-se que de 75% a 90% do P perdido em áreas agrícolas seja devido ao arraste de partículas minerais ou orgânicas durante o processo de erosão hídrica (Novais & Smyth, 1999).

No processo de erosão hídrica, alguns nutrientes podem apresentar maiores concentrações no sedimento e outros na solução. Em sistema agrícolas, perdas de nutrientes foram avaliadas por Hernani et al. (1999) em diversos sistemas de manejo. De acordo com estes autores, as perdas de P e K<sup>+</sup> por erosão hídrica foram maiores no sedimento, enquanto Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> foram maiores na enxurrada. Estes mesmos resultados foram observados por Bertol et al. (2004). No entanto, McDowell & McGregor (1980) verificaram que, as perdas de P e K<sup>+</sup> na enxurrada durante o ciclo da soja foram mais elevadas do que as do sedimento.

Em povoamentos de eucalipto em Latossolo Vermelho Distroférico, Brito et al. (2005) determinaram perdas de nutrientes por erosão hídrica em diversos tipos de manejo, tendo as perdas de nutrientes determinadas neste estudo sido muito baixas. Em florestas plantadas de eucalipto, estudos em relação a perdas de nutrientes por erosão hídrica são ainda incipientes, gerando carência de dados neste campo do conhecimento.

Mackensen & Folster (2000) avaliaram as perdas de nutrientes em florestas comerciais de *Eucalyptus deglupta* em três cenários de impacto ambiental e os classificaram como alto, médio e baixo impacto. De acordo com estes autores, valores de P, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> perdidos por erosão hídrica acima de 0,1; 1; 4 e 4 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> respectivamente, podem indicar um cenário de alto impacto e, abaixo desses valores, cenário de baixo impacto.

Estudo de ciclo geoquímico de nutrientes, desenvolvido por Zuliani (2003) em uma microbacia, concluiu que aumentos na entrada de P, via

adubação, não são seguidos diretamente por um maior teor P na água do vertedouro. De acordo com a autora, esta ocorrência deve-se ao fato de que em alguns períodos após chuvas elevadas, verifica-se um aumento na saída de P através do vertedouro, provavelmente por uma questão de arraste superficial de partículas ricas em P para o curso d'água. Portanto, o teor de P na água do vertedouro não pode ser atribuído diretamente à adubação fosfatada nas áreas de plantio. Ainda segundo a autora, o  $K^+$  e  $Ca^{2+}$  são nutrientes muito mais móveis e lixiviáveis no solo e são aplicados em maiores quantidades que o P. Mesmo assim, no entanto, sua saída pelo vertedouro é pequena, quando se compara essa concentração com a de outras águas.

Dessa forma, objetivou-se, com o presente estudo, quantificar a perda de nutrientes e carbono orgânico no sedimento e na água de enxurrada, resultantes da erosão hídrica, em plantios comerciais de eucalipto na região dos Tabuleiros Costeiros, no município Aracruz, ES.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em áreas experimentais da Aracruz Celulose S.A., na região dos Tabuleiros Costeiros, no município Aracruz, ES. O estudo foi realizado em uma microbacia hidrográfica de 286 ha, constituída de 189 ha de plantios de eucalipto e 88 ha de floresta nativa e 8,0 ha de estradas, situada em área experimental da Aracruz Celulose S.A.

O clima da região é Aw, segundo a classificação de Köppen. A temperatura média anual é de 23°C e a precipitação média é de 1.400 mm ano<sup>-1</sup>. As precipitações nos meses de primavera e verão representam 65% a 75% da precipitação total e, em um ou dois meses, as precipitações mensais são menores que 60 mm.

O experimento foi instalado nas principais classes de solos existentes na região, originados de sedimentos da Formação Barreiras, a saber: Argissolo Amarelo textura média/argilosa (PA1), Plintossolo Háptico (FX) e Argissolo Amarelo moderadamente rochoso (PA8).

Os três tratamentos estudados foram: solo descoberto, solo sob cultivo de eucalipto (clones híbridos naturais de *Eucalyptus grandis*), com 7 anos de idade e solo sob floresta ombrófila densa segundo Veloso et al. (1991) ou floresta tropical subperenifólia (Embrapa, 2000).

O preparo do solo adotado para a implantação da cultura do eucalipto foi o cultivo mínimo com coveamento manual de 30x30x30 cm. Resíduos da colheita anterior, tais como cepa, folha, galhos e madeira da ponta das árvores, permaneceram na área. Foi realizado o controle da mato-competição no pré-plantio utilizando-se o herbicida pós-emergente Round-up, aplicado em área total na dosagem de 3 litros ha<sup>-1</sup>, num total de duas aplicações. No controle da brotação do eucalipto foi utilizado também o Round-up aplicado na brotação na dosagem de 3 litros ha<sup>-1</sup>.



Na Tabela 1 observa-se a quantidade de nutrientes adicionadas para o ciclo do eucalipto via adubação e nutrientes presentes na água da chuva

TABELA 1 Quantidade de nutrientes adicionada via adubação para o ciclo do eucalipto e presentes na água da chuva.

Nutriente	Água da chuva	Adubação
	mg kg <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>
P	0,024	7
K	0,6	51
Ca	0,2	101
Mg	0,1	329

Fonte: Modificado de Zuliani (2003)

Foram utilizados dados de perdas de solo e de água ocorridos no período de novembro de 1997 a maio de 2004. A avaliação das perdas de solo foi realizada em parcelas instaladas no campo, com dimensões de 12,0 x 24,0 m para o solo cultivado com eucalipto e 4,0 x 12,0 m para o solo sob floresta nativa e solo sem cobertura. As parcelas foram contornadas com chapas galvanizadas com 0,40 m de largura, que foram enterradas 0,20 m.

Para quantificar as perdas de nutrientes, amostras foram coletadas da enxurrada e do sedimento, segundo metodologia descrita por Cogo (1978). Após agitação da suspensão, foram retiradas três alíquotas de volume predeterminado, as quais foram transferidas para o laboratório e submetidas à decantação. O material decantado foi seco em estufa a 105°C e, no sedimento, foram determinados os teores de P extraível, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> trocáveis e carbono orgânico total. O complexo sortivo, o pH em água e o carbono orgânico foram determinados segundo Vettori (1969) e Embrapa (1997). O fósforo total no solo e no sedimento foi determinado por meio do extrator Mehlich-1.

Na água da enxurrada foram determinados os teores de Ca, Mg, K e P solúveis por espectrometria de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado (ICP-AES), seguindo os métodos estabelecidos em APHA (1989).

Para discutir os dados, admitiu-se que o sedimento removido das parcelas pela erosão era aquele da camada de 0 a 0,20 m de profundidade e comparou-se a composição química do sedimento erodido com o do solo original na mesma profundidade. Os teores pH em água, carbono orgânico total e nutrientes dos solos estudados podem ser observados na Tabela 2.

Determinou-se também os nutrientes totais presentes na serrapilheira da mata e do eucalipto de acordo com metodologia proposta por Malavolta et al. (1989).

TABELA 2 Atributos químicos dos solos estudados, Aracruz, ES, profundidade (20 cm).

Solo	Tratamento	pH	COT	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	P
			g kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		mg dm <sup>-3</sup>	
PA1	Euc	4,2	14,7	0,8	0,2	53,0	4,7
	Mata	4,0	35,7	0,4	0,2	30,3	8,3
	Desc	4,4	21,3	0,9	0,2	16,3	11,7
FX	Euc	4,3	20,0	0,5	0,2	26,3	9,0
	Mata	4,4	23,7	0,6	0,2	20,0	6,3
	Desc	4,4	16,0	0,1	0,1	5,3	2,3
PA8	Euc	4,6	28,7	1,5	1,3	25,3	3,0
	Mata	4,3	50,0	0,8	0,2	48,0	5,3
	Desc	4,4	18,6	0,5	0,1	11,0	7,0

As análises estatísticas dos resultados de carbono orgânico total e nutrientes presentes na água e sedimento constituíram da análise de variância em esquema fatorial 3x3, sendo três solos e três manejos, com parcelas subdivididas no tempo. Foi utilizado o teste de Tukey, a 5% de probabilidade, para comparação das médias.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As concentrações de carbono orgânico total e de nutrientes no sedimento para os diferentes solos e coberturas no ciclo do eucalipto podem ser observadas na Tabela 3. As perdas de nutrientes, carbono orgânico total e pH não apresentaram diferença significativa entre os solos e sistemas estudados.

TABELA 3 Valores médios de pH, concentração média de carbono orgânico total e nutrientes no sedimento.

Solo	Trat.	pH	COT	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	P	K <sup>+</sup>
			g kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		mg dm <sup>-3</sup>	
PA1	Euc	5,6	20,1	1,6	1,1	7,5	19,0
	Mata	5,5	17,6	1,1	0,4	6,8	13,2
	Desc	5,9	43,3	2,3	0,4	25,7	40,0
FX	Euc	5,6	36,0	2,0	1,1	37,4	31,3
	Mata	5,8	15,0	0,9	0,3	13,3	11,9
	Desc	5,9	29,6	2,9	1,2	24,4	29,0
PA8	Euc	5,5	37,0	2,8	1,8	6,2	29,5
	Mata	5,0	21,0	1,0	0,6	2,6	21,2
	Desc	5,7	76,6	3,1	2,0	30,0	44,20

COT: Carbono orgânico total

As concentrações de nutrientes na água de enxurrada para no PA1 podem ser observadas na Figura 1. Os sistemas eucalipto e mata nativa apresentaram praticamente o mesmo valor de Ca<sup>2+</sup> na água, em torno de 11 mg L<sup>-1</sup>. Já para o K<sup>+</sup>, o eucalipto apresentou menores perdas em relação ao solo descoberto e mata nativa. O Mg<sup>2+</sup> e o P apresentaram o mesmo valor de perdas em relação a todas as coberturas.

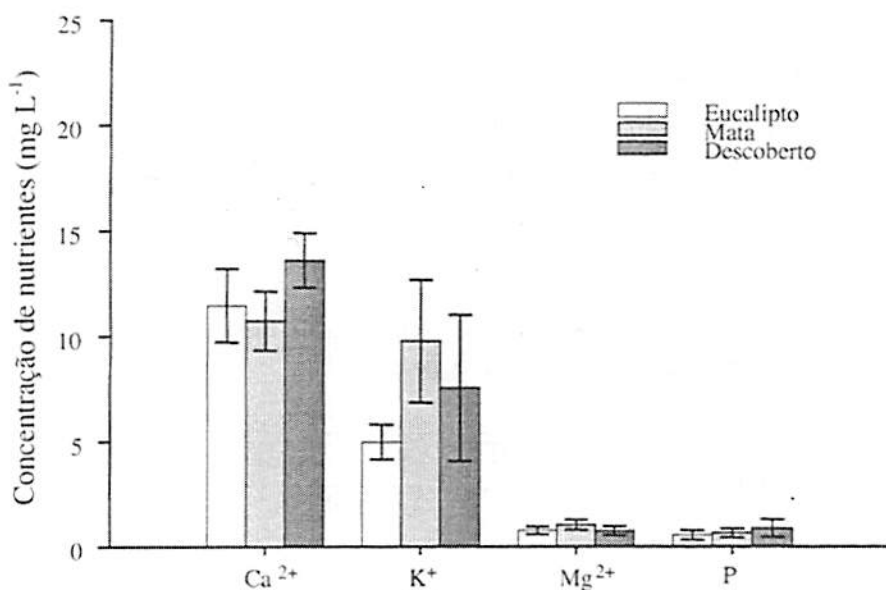


FIGURA 1 Concentrações médias de nutrientes na água da enxurrada para o solo PA1, sob eucalypto, mata nativa e solo descoberto.

As concentrações de nutrientes na água de enxurrada para no FX podem ser observadas na Figura 2. Os valores de  $\text{Ca}^{2+}$  na água para eucalypto, mata nativa e solo descoberto não apresentaram diferenças significativas. A mesma tendência foi observada para o  $\text{Mg}^{2+}$  e o P. Já para o  $\text{K}^+$ , as maiores perdas foram observadas para mata nativa, seguida pelo solo descoberto e solo sob eucalypto. O maior valor de potássio presente na água de enxurrada da mata em relação ao eucalypto, tanto no PA1, como no FX pode ser devido ao maior valor deste elemento presente na serapilheira da mata (Tabela 4).

Na Figura 3, observam-se os valores de nutrientes na água da enxurrada do solo PA8. O  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e P para todas as coberturas apresentaram a mesma tendência que a do FX.

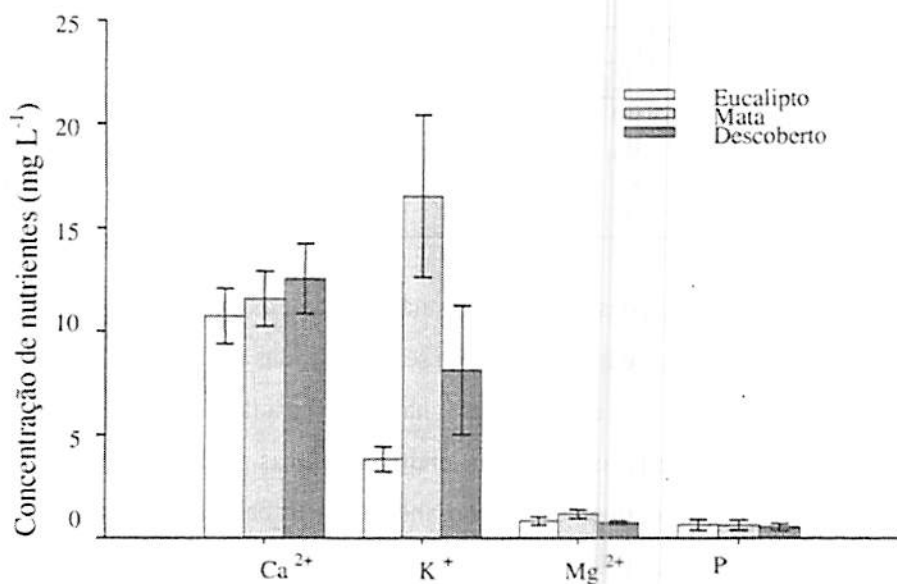


FIGURA 2 Concentrações médias de nutrientes na água da enxurrada para o solo FX, sob eucalypto, mata nativa e solo descoberto.

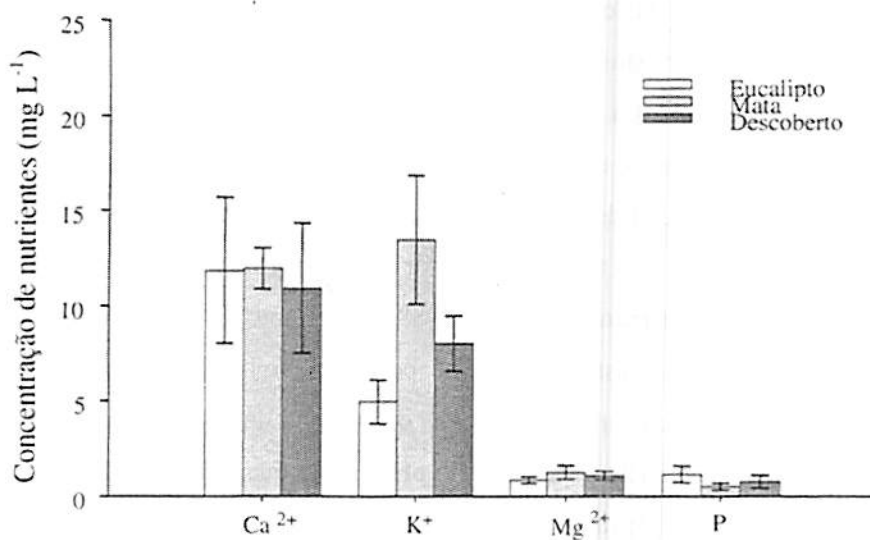


FIGURA 3 Concentrações médias de nutrientes na água para o solo PA8, sob eucalypto, mata nativa e solo descoberto.

Tabela 4 Valores médios anuais e valores totais de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , P, presentes na serapilheira do eucalipto e da mata.

Nutrientes	Mata	Eucalipto	Mata	Eucalipto
	$\text{Kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$		$\text{Kg ha}^{-1} \text{ciclo}^{-1}$	
$\text{Ca}^{2+}$	67,99	44,82	475,93	288,92
$\text{K}^+$	15,96	10,44	111,74	62,62
$\text{Mg}^{2+}$	13,83	10,56	96,84	63,36
P	2,18	1,85	15,25	11,32

As concentrações de nutrientes na água da enxurrada e no sedimento e o carbono orgânico no sedimento podem ser observadas na Tabela 5. As perdas de  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  foram mais elevadas na água da enxurrada do que no sedimento em todos os solo e coberturas estudadas, enquanto que as perdas de P e de  $\text{K}^+$  foram mais elevadas no sedimento, concordando com trabalhos de Freitas & Castro (1983), Hernani et al. (1987), Schick et al. (1999), Guadagnin (2004) e Bertol et al. (2004). As perdas mais elevadas de P no sedimento em relação à P na água da enxurrada (tanque de sedimentação) podem ser explicadas pela sua adsorção específica nas partículas do solo e sua baixa solubilidade (Bertol et al., 2004).

A matéria orgânica é um dos primeiros constituintes do solo a ser arrastado e, associados a ela, podem estar o  $\text{K}^+$  e o P (Resk et al., 1980; Hernani et al., 1987 e Seganfredo et al., 1997).

A concentração de P na enxurrada foi superior ao limite crítico, a partir do qual o P da enxurrada torna-se um fator importante no processo de aceleração da eutrofização de mananciais (Yoo, 1988). Entretanto, estes resultados devem ser analisados com bastante cautela, pois, no ambiente de deposição da enxurrada, podem ocorrer várias reações e liberação de P para a solução, como as reações de oxirredução e elevação do pH do solo que está numa faixa de 4,2 e 4,6 (Tabela 2) e se eleva para uma faixa de 6,9 e 7,4 na água da enxurrada (Tabela 5), proporcionando um ambiente de maior solubilidade de P e também liberação do P ligado ao carbono orgânico solúvel em água. Adiciona-se a este

aspecto o aumento de P na solução devido à redução dos óxidos de ferro, liberando P adsorvido para a solução. De acordo com Zuliani (2003), que desenvolveu um trabalho de balanço geoquímico nesta mesma microbacia, os aumentos na entrada de P via adubação não são seguidos diretamente por um maior teor de P na água do vertedouro. Em alguns períodos após chuvas elevadas, verifica-se um aumento na saída de P através do vertedouro, provavelmente por uma questão de arraste superficial de partículas ricas em P para o curso d'água. Portanto, o teor de P água do vertedouro não pode ser atribuído diretamente à adubação fosfatada

TABELA 5 Valores médios de pH, teores de carbono orgânico no sedimento,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , P e  $\text{K}^+$  no sedimento e na água de enxurrada.

Solo	Trat.	pH	COT	Sedimento			
				$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	P	$\text{K}^+$
				-----mg $\text{kg}^{-1}$ -----			
PA1	Euc	5,6	20,1	1,50	1,10	7,57	19,0
	Mata	5,5	17,6	1,63	0,40	6,83	13,2
	Desc	5,9	43,3	2,27	0,43	25,73	40,0
FX	Euc	5,6	36,0	2,03	1,10	37,40	31,33
	Mata	5,8	15,0	0,87	0,33	13,3	11,90
	Desc	5,9	29,6	2,90	1,20	24,40	29,00
PA8	Euc	5,5	37,0	2,83	1,77	6,23	29,50
	Mata	5,0	21,0	1,00	0,57	2,60	21,20
	Desc	5,7	76,6	3,17	2,00	30,03	44,20

Solo	Trat.	pH	Água da enxurrada			
			$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	P	$\text{K}^+$
			-----mg $\text{kg}^{-1}$ -----			
PA1	Euc	7,2	11,45	0,76	0,53	4,98
	Mata	7,2	10,73	1,04	0,63	9,77
	Desc	7,3	13,61	0,74	0,86	7,56
FX	Euc	7,2	10,72	0,82	0,64	3,81
	Mata	7,4	11,56	1,16	0,62	16,51
	Desc	7,3	12,53	0,73	0,53	8,11
PA8	Euc	7,3	11,85	0,85	1,17	4,96
	Mata	7,2	11,98	1,27	0,52	13,45
	Desc	6,9	10,92	1,08	0,79	8,01

Os valores da taxa de enriquecimento do sedimento (TES) podem ser observados na Tabela 6. Os valores da TES maiores que um indicam haver enriquecimento dos nutrientes no sedimento em relação aos teores de nutrientes no solo estudado. Valores menores que um indicam ausência de enriquecimento. Para matéria orgânica, a mata nativa não apresentou enriquecimento em relação a todos os solos estudados. O mesmo não foi verificado para o solo sob eucalipto e solo descoberto. No entanto,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  para todos os solos e



tratamentos estudados apresentaram TES maiores que um, indicando haver enriquecimento do sedimento. Assim como a matéria orgânica, o P não apresentou TES superior a 1 na mata nativa no PA1 e PA8.

A mesma tendência foi observada para o  $K^+$ , adicionando-se a TES superior a 1 para o eucalipto no PA1. Na sua quase totalidade, os maiores valores de TES foram observados para o solo descoberto. Para o PA1, FX e PA8 e em todos os tipos de cobertura, a TES apresentou a seguinte seqüência: solo descoberto > solo sob eucalipto > solo sob mata nativa.

De modo geral, o comportamento do TES para os solos estudados apresentou a tendência PA8 > FX > PA1 em relação ao  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e o carbono orgânico. Já para os nutrientes P e  $K^+$ , a tendência foi FX > PA8 e PA1. Esta tendência pode estar relacionada com os declives mais acentuados do PA8, com declividade variando de 28,2% a 35,5% e a posição do FX nas posições mais côncavas à paisagem, refletindo nas maiores taxas.

TABELA 6 Taxa de enriquecimento do sedimento em relação ao carbono orgânico total e nutrientes dos solos e tratamentos estudados.

Solo	Trat.	COT	$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$	P	$K^+$
PA1	Euc	1,4	2,0	5,5	1,6	0,4
	Mata	0,5	2,7	2,0	0,8	0,4
	Desc	2,0	2,6	2,0	2,2	2,4
FX	Euc	1,8	4,0	5,5	4,2	1,2
	Mata	0,6	1,5	1,5	2,1	0,6
	Desc	1,8	2,9	12,0	10,6	5,5
PA8	Euc	1,3	1,9	1,4	2,1	1,2
	Mata	0,4	1,2	3,0	0,5	0,4
	Desc	4,1	6,2	20,0	4,3	4,0

De modo geral, observa-se que o material erodido foi substancialmente mais rico em fósforo, cálcio, magnésio, potássio e matéria orgânica do que o solo original, concordando com estudos de Seganfredo et al. (1997). Segundo

Freitas & Castro (1983) e Seganfredo et al. (1997), o material erosionado proveniente da erosão hídrica é mais rico em  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , P e  $\text{K}^+$  e matéria orgânica do que o solo original.

As quantidades médias de nutrientes perdidos no ciclo do eucalipto, na água e no sedimento, bem como o carbono orgânico total, podem ser observadas na Tabela 7. Observa-se que as perdas de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , P e  $\text{K}^+$  são baixas, concordando com estudos de Mackensen & Folster (2000) e Zuliani (2003). Este aspecto sugere que o ambiente de estudo é bastante conservador. Os baixos valores de perdas de nutrientes para o eucalipto podem ser explicados principalmente pelos baixos valores de perdas de solo que variaram de 0,0010 a  $3,07 \text{ Mg}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , observados nesta microbacia (Tabela 2, Capítulo 3). A baixa quantidade de nutrientes perdida no ciclo do eucalipto concorda com o estudo de balanço geoquímico realizado por Zuliani (2003) na mesma microbacia do presente estudo.

TABELA 7 Valores médios de pH, perdas de carbono orgânico total no sedimento, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, P e K<sup>+</sup> no sedimento e na água de enxurrada por erosão hídrica para o ciclo do eucalipto.

Solo	Trat.	pH	COT	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	P	K <sup>+</sup>
				Sedimento			
			kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	g ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>			
PA1	Euc	5,6	0,70	0,05	0,03	0,26	0,66
	Mata	5,5	3,58	0,33	0,09	1,39	2,69
	Desc	5,9	8,82	0,46	0,09	5,24	8,15
FX	Euc	5,6	1,25	0,07	0,04	1,30	1,09
	Mata	5,8	3,16	0,18	0,07	2,80	2,51
	Desc	5,9	6,06	0,59	0,24	5,00	5,94
PA8	Euc	5,5	7,66	0,58	0,36	1,29	6,11
	Mata	5,0	4,39	0,20	0,11	0,54	4,43
	Desc	5,7	16,20	0,67	0,42	6,35	9,34

Solo	Trat.	pH	COT	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	P	K <sup>+</sup>
				Água da enxurrada			
				g ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>			
PA1	Euc	7,2	-	0,39	0,02	0,01	0,17
	Mata	7,2	-	2,18	0,21	0,12	0,99
	Desc	7,3	-	2,77	0,15	0,17	0,54
FX	Euc	7,2	-	0,37	0,03	0,02	0,13
	Mata	7,4	-	2,43	0,24	0,13	3,48
	Desc	7,3	-	2,56	0,14	0,10	1,66
PA8	Euc	7,3	-	2,45	0,17	0,24	1,02
	Mata	7,2	-	2,50	0,26	0,10	2,81
	Desc	6,9	-	2,30	0,22	0,16	1,70

COT: carbono orgânico total.

Os valores de carbono orgânico (Tabela 7) perdidos foram em maior quantidade, concordando com estudos de Seganfredo et al. (1997), Hernani et al. (1999) e Schick et al. (1999). A título de comparação, Hernani et al. (1999) determinaram as perdas de matéria orgânica em sistemas agrícolas em vários tipos de manejo e verificaram uma amplitude de perdas de 29 a 216 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Isso justifica dizer que as perdas de carbono orgânico em plantios de

eucalipto, nestas condições de estudo, são relativamente baixas. Faganello (1991) determinou as perdas de nutrientes em sistema convencional com queima de palha de trigo e soja e no plantio direto. De acordo com este autor, as perdas de  $K^+$  e P no sistema convencional atingiram valores de 76 a 54  $kg^i ha^{-1} ano^{-1}$ , respectivamente. Já o plantio direto, com três anos de instalação, perdeu 5 e 4  $kg^{-1} ha^{-1} ano^{-1}$  de  $K^+$  e P, respectivamente.

#### 4 CONCLUSÕES

1. Os valores de  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  foram maiores na enxurrada do que no sedimento, enquanto que as perdas de P e  $\text{K}^+$  foram maiores no sedimento.
2. As perdas de carbono orgânico foram de 0,70 a 7,66  $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para o PA1 e PA8, respectivamente, sendo consideradas baixas.
3. O manejo adotado atualmente é adequado, não havendo perdas expressivas de nutrientes e carbono orgânico para o ciclo do eucalipto. Considerando que as perdas de solo são muito baixas para os sistemas estudados, estando muito abaixo dos limites de tolerância, pode-se interpretar que as perdas de nutrientes e carbono orgânico não estão comprometendo a sustentabilidade das florestas de eucalipto, reforçando apenas a necessidade de manutenção das práticas conservacionistas atualmente em uso.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 17. ed. Washington, 1989. s. p.

BERTOL, I.; GUADAGNIN, P. C.; CASSOL, P. C.; AMARAL, A. J.; BARBOSA, F. T. Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um inceptisol sob chuva natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 485-494, jan./fev. 2004.

BRITO, L. F.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; LEITE, F. P. Erosão hídrica de Latossolo Vermelho muito argiloso em área ondulada de pós-plantio de eucalipto no Vale do Rio Doce, região Centro Leste do Estado de Minas Gerais. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, n. 67, abr. 2005. (No prelo)

COGO, N. P. Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas por erosão em condições de chuva natural: I - Sugestões gerais, medição do volume, amostragem e quantificação de solo e água da enxurrada (1ª Aproximação). In: ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., 1978, Passo Fundo. *Anais...* Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1978. p. 75-97.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA. **Levantamento generalizado e semidetalhado de solos da Aracruz Celulose S.A. no estado do Espírito Santo e no extremo sul do estado da Bahia e sua aplicação aos plantios de eucalipto**. Rio de Janeiro, 2000. 93 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. ver. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FAGANELLO, A. Semeadoras para o uso em manejo conservacionista. In: FERNANDES, J. M.; FERNANDES, M. R.; KOCHHANN, R. A.; SELLES, F.; ZENTER, R. P. **Manual de manejo conservacionista do solo para os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT/CIDA, 1991. p. 59-62. (EMBRAPA-CNPT/CIDA. Documento, 1).

FREITAS, P. L.; CASTRO, A. F. Estimativas das perdas de solo e nutrientes por erosão no Estado do Paraná. *Boletim informativo da Sociedade Brasileira de ciência do Solo*, Campinas, v. 8, p. 43-52, jan./mar. 1983.

GONÇALVES, J. L. M. Conservação do solo. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. (Ed.). **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. p. 47-130.

GUADAGNIN, J. C. **Perdas de nutrientes e carbono orgânico pela erosão hídrica, em um Cambissolo Húmico aluminico léptico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo**. 2004. 142 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC.

HERNANI, L. C.; KURIHARA, C. H.; SILVA, W. M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 145-154, jan./mar. 1999.

HERNANI, L. C.; SAKAI, E.; LOMBARDI NETO, F.; LEPSCH, I. F. influência de métodos de limpeza de terreno sob floresta secundária em Latossolo Amarelo do Vale do Ribeira, SP: II. Perdas por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 11, p. 215-219, 1987.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. Piracicaba: PATAFÓS, 1989. 201p.

MACKENSEN, J.; FÖSLTER, H. Cost-analysis for a sustainable nutrient management of fast growing-tree plantations in East-Kalimatan, Indonesia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 131, n. 1/3, p. 239-253, June 2000.

MCDOWELL, L. L.; MCGREGOR, K. C. Nitrogen and phosphorus losses in runoff from no-till soybeans. **Transaction American Science Agricultural Engineering**, St. Joseph, v. 23, n. 3, p. 643-648, May/June 1980.

MORRISON, I. K. Can a plot-based forest health monitoring contribute to assessment of soil pollution indicators in Canada? In: ADANS, M. B.; RAMAKRISHNA, K.; DAVIDSON, E. A. **The contribution of soil science to the development of and implementation of criteria and indicators of sustainable forests management**. Madison: Soil Science Society of America, 1998. p. 81-97. (SSSA. Special publication number, 53)

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, DPS, 1999. 399p

RAMAKRISHNA, K.; DAVIDSON, E. A. Intergovernmental negotiations on criteria and indicators for the management, conservation, and sustainable development of forests: what role for forest soil scientists? In: ADANS, M. B.; RAMAKRISHNA, K.; DAVIDSON, E. A. **The contribution of soil science to the development of and implementation of criteria and indicators of sustainable forests management**. Madison: Soil Science Society of America, 1998. p. 1-15 (SSSA. Special publication number, 53)

RESK, D. V. S.; FIGUEIREDO, M. S.; FERNANDES, B.; RESENDE, M.; SILVA, T. C. C. Intensidade de perdas de nutrientes em um Podzólico Vermelho-Amarelo, utilizando-se do simulador de chuvas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 4, n. 1, p. 188-192, jan./feb. 1980.

SCHICK, L.; BERTOL, I.; BATISTELA, O.; BALBINOT JÚNIOR. Erosão hídrica em cambissolo húmico aluminoso submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. Perdas de Nutriente e carbono orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 427-436, abr./jun. 1999.

SCHICK, L.; BERTOL, I.; BATISTELA, O.; BALBINOT JÚNIOR. Erosão hídrica em cambissolo húmico aluminoso submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: II. Perdas de Nutriente e carbono orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 437-447, abr./jun. 1999.

SEGANFREDO, M. L.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. L. R. de. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em diferentes sistemas de culturas em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 2, p. 287-291, abr./jun. 1997.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 123 p.

VETTORI, L. **Métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1969. 24 p. (Boletim Técnico, 7).

YOO, K. H.; TOUCHTON, J. T.; WALKER, R. H. Runoff, sediment and nutrient losses from various tillage systems of cotton. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 12, n. 1, p. 13-24, July 1988.

ZULIANI, D. Q. **Balço geoquímico em plantações de eucalipto e caracterização de águas superficiais próximas a depósito de lixo: Estudos de caso**. 2003. 96 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.